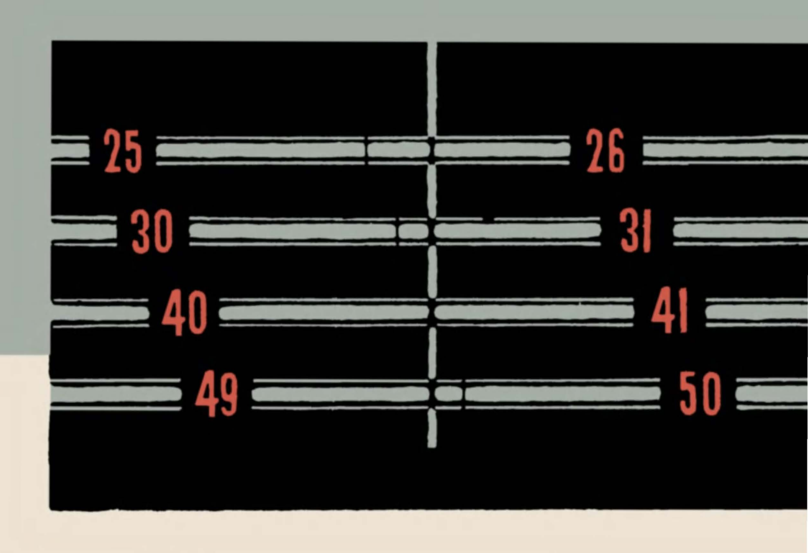
И. М. КЛЕЙНЕР и Л. Н. ШПЕКТОРОВ

РАСТЯНУТЫЕ ДИАПАЗОНЫ





«ЭНЕРГИЯ»

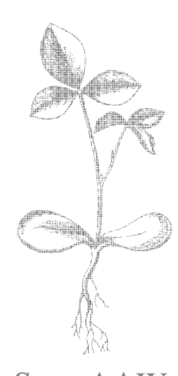
МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 667

И. М. КЛЕЙНЕР и Л. Н. ШПЕКТОРОВ

РАСТЯНУТЫЕ ДИАПАЗОНЫ





«ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1968

6Ф2.12
К48
УДК 621.396.62

Клейнер И. М. и Шпекторов Л. Н.

К 48 Растянутые диапазоны. М., «Энергия», 1968.

48 с. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 667).

В книге рассматриваются некоторые особенности приема на коротких волнах и существующие способы получения «растянутой» настройки. Приводятся различные схемы растянутой настройки, расчетные формулы и порядок расчета схем. Излагаются основные соображения по конструированию высокочастотной части приемника с растянутой настройкой и рассматриваются вопросы устойчивости и стабилизации частоты гетеродина. В заключение приводятся примеры практического расчета схем растянутой настройки. Книга рассчитана на подготовленных радиолюбителей.

3-4-5
356-68 **6Ф2.12**

Клейнер Илья Маркович и Шпекторов Лев Натанович

Растянутые диапазоны

Редактор *Ю. Л. Голубев*

Обложка художника *А. М. Кувшинникова*

Технический редактор *Л. М. Кузнецова* Корректор *А. Д. Халанская*

Сдано в набор 19/X 1967 г. Подписано к печати 5/II 1968 г. Т-00236
Формат 84×108¹/₃₂ Бумага типографская № 2
Усл. печ. л. 2,52 Уч.-изд. л. 3,41
Тираж 60 000 экз. Цена 14 коп. Зак. 571

Издательство „Энергия". Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Шлюзовая наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

Прием на коротких волнах (КВ) неизменно привлекает к себе внимание радиослушателей и радиолюбителей. В первую очередь это объясняется большим количеством вещательных станций, располагающихся в этом диапазоне, что позволяет выбирать самые разнообразные программы.

Способность коротких волн преодолевать большие расстояния и появление приемников с высокой чувствительностью и хорошей избирательностью позволяют осуществлять устойчивый прием вещательных и маломощных любительских КВ станций на расстоянии многих

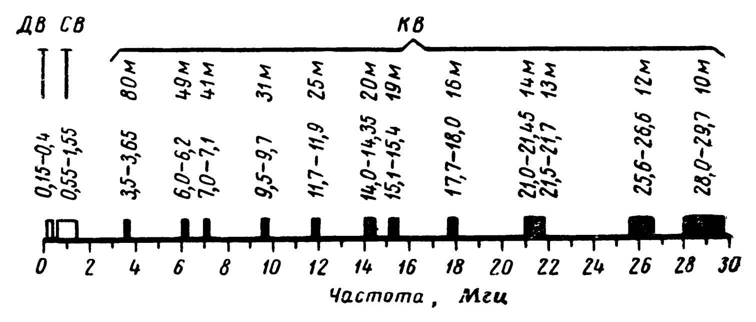


Рис. 1. Размещение ДВ, СВ и КВ диапазонов на шкале частот.

тысяч километров. Помимо этого, КВ диапазон более свободен от помех, чем средневолновый (СВ) и длинноволновый (ДВ) диапазоны, что обеспечивает лучшее качество приема.

КВ диапазон лежит в интервале частот от 3,5 до 30 *Мгц*. При такой ширине КВ диапазона в нем можно было бы разместить свыше тысячи станций. Однако КВ вещательные станции размещены по шкале частот очень неравномерно и в основном весьма плотно сосредоточены в нескольких узких участках диапазона, как это показано на рис. 1. Такое распределение станций по диапазону делает нецелесообразным и неудобным создание приемников с одним или двумя широкими КВ поддиапазонами. Многие радиослушатели и радиолюбители, имеющие приемники с одним или двумя широкими КВ поддиапазонами, не раз испытывали неудобство, связанное с отысканием нужной станции и настройкой на нее. Это неудобство заключается в необходимости очень медленно и плавно вращать руч-

ку настройки приемника для настройки на выбранную станцию. Однако мало найти выбранную станцию, нужно еще и точно настроиться на нее для обеспечения неискаженного приема, максимальной громкости и минимальной слышимости соседних станций. Кроме того, прогрев приемника часто приводит к необходимости периодически подстраивать приемник с той же тщательностью.

Для устранения указанных недостатков настройки в КВ диапазоне в приемник вместо одного или двух широких поддиапазонов вводится несколько поддиапазонов, охватывающих узкие участки КВ диапазона, в которых сосредоточены вещательные или любительские радиостанции. Такие поддиапазоны «растягиваются» на всю шкалу настройки приемника и в этом смысле называются растянутыми диапазонами.

Конструирование приемников с растянутыми диапазонами имеет свои особенности, рассмотрению которых и посвящена эта брошюра.

Глава первая

ОСОБЕННОСТИ НАСТРОЙКИ ПРИЕМНИКА НА РАБОТАЮЩУЮ СТАНЦИЮ В КВ ДИАПАЗОНЕ

1. ПЛОТНОСТЬ НАСТРОЙКИ В КВ ДИАПАЗОНЕ

Удобство настройки приемника проще всего оценить по плотности настройки *П*, т. е. по ширине полосы частот, приходящейся на один градус поворота ручки настройки приемника. В подавляющем большинстве случаев перестройка приемника производится вращением оси конденсатора переменной емкости, связанной через верньерное устройство с ручкой настройки. Полная перестройка приемника на всю шкалу осуществляется при повороте оси конденсатора переменной емкости примерно на 180°.

Оценим плотность настройки в ДВ, СВ и КВ диапазонах. Для удобства оценки будем считать конденсатор переменной емкости прямочастотным.

На ДВ диапазоне (0,15—0,4 *Мгц*) при ширине диапазона 250 *кгц*

$$П = \frac{250}{180} \approx 1,4 \; кгц/град.$$

На СВ диапазоне (0,55—1,55 *Мгц*) при ширине диапазона 1 000 *кгц*

$$П = \frac{1\,000}{180} \approx 5,55 \; кгц/град.$$

На КВ диапазоне для примера возьмем участок от 3,5 до 12 *Мгц*. При ширине участка диапазона 8 500 *кгц*

$$П = \frac{8\,500}{180} \approx 47,2 \; кгц/град.$$

Из этих примеров видно, что плотность настройки в выбранном участке КВ диапазона (25—86 *м*) в 8,5 раза выше, чем в СВ диапазоне, и в 33,5 раза выше, чем в ДВ диапазоне. Если полагать, что ширина полосы частот вещательной станции составляет 10 *кгц*, то в рассмотренном участке КВ диапазона на 1° поворота оси конденсатора переменной емкости приходится пять станций.

Для высококачественного приема станции точность настройки приемника должна быть порядка 2 *кгц*. В этом случае ось переменного конденсатора необходимо устанавливать с точностью до $\frac{2}{47,2} \approx 0,04°$. Достигнуть такой точности установки трудно даже при использовании верньерных механизмов с большим замедлением. Это и является основной причиной трудности настройки приемника на работающую станцию на коротких волнах.

2. УПРОЩЕНИЕ НАСТРОЙКИ ПРИЕМНИКА В КВ ДИАПАЗОНЕ МЕТОДОМ РАСТЯНУТОЙ НАСТРОЙКИ

Задача создания плавной и удобной настройки приемника на коротких волнах может быть решена двумя принципиально разными способами.

Первый из них — использование верньерных устройств с большим замедлением для передачи вращения от ручки настройки приемника на ось конденсатора переменной емкости. Применение таких устройств целесообразно при наличии в приемнике одного-двух КВ диапазонов. В этом случае электрическая схема входа приемника, усилителя высокой частоты и гетеродина получается весьма простой и имеет сравнительно небольшое количество контуров. Упрощается переключатель диапазонов.

Однако верньерное устройство с большим замедлением решает задачу создания удобства и плавности настройки приемника только частично. Обеспечивая хорошую плавность настройки, верньерное устройство все же не позволяет достичь хорошей точности настройки и уменьшить плотность расположения станции на шкале приемника. Поясним это на примере.

При использовании верньерного устройства с замедлением 1 : 100 для настройки на станцию с точностью 2 *кгц* в диапазоне от 3,5 до 12 *Мгц* потребуется устанавливать ручку настройки приемника с довольно высокой точностью $\frac{180 \cdot 100 \cdot 2}{12\,000 - 3\,500} \approx 4$ *град/кгц*. При перестройке приемника на всю ширину диапазона потребуется 50 оборотов ручки настройки, что, разумеется, неудобно.

Плотность размещения станций на шкале приемника не зависит от замедления и определяется только размерами шкалы и шириной диапазона. Для шкалы длиной 30 *см* плотность станций в рассматриваемом случае составит две-три станции на 1 *мм* шкалы. При этом «полезные», т. е. представляющие интерес для радиослушателей и радиолюбителей, участки диапазона составляют менее 20% всей шкалы.

Способ упрощения настройки приемника на коротких волнах с помощью верньерных устройств с большим замедлением по существу не затрагивает схемы приемника. При построении таких приемников встречаются лишь чисто конструктивные трудности.

Второй способ создания удобной и плавной настройки заключается в разбивке КВ диапазона на поддиапазоны, «растягиваемые» на всю шкалу приемника. При этом сильно снижается плотность настройки, благодаря чему настройка приемника может быть сделана такой же удобной, как и в ДВ и СВ диапазонах. Перестройка приемника в пределах растянутого диапазона обеспечивается очень

небольшим изменением емкости конденсатора настройки. Так, например, полная перестройка приемника в диапазоне 9,5—9,7 *Мгц* (31 *м*) достигается изменением емкости контура всего на 4,2%, а в диапазоне 11,7—11,9 *Мгц* (25 *м*) — на 3,4%. В обоих случаях плотность настройки $П = 1,1$ *кгц/град*.

При растяжке диапазонов смежные участки, занятые станциями, могут быть объединены в один поддиапазон (например, 25—31 *м*, 49—80 *м* и т. д.). Такой вид растяжки, получивший название «полурастянутых диапазонов», практически ничем схемно не отличается от обычных решений для нерастянутых КВ диапазонов, но имеет меньшую плотность настройки (для 25—31 *м* $П \approx 13$ *кгц/град*, для 49—80 *м* $П \approx 15$ *кгц/град*). В этом случае емкость контура для диапазона 25—31 *м* нужно изменить в 1,5 раза, а для диапазона 49—80 *м* — в 3,14 раза. Помимо основных методов растяжки диапазонов, иногда применяется растяжка внутри диапазона, осуществляемая подключением к основному дополнительного подстроечного конденсатора малой емкости с отдельной ручкой настройки. Этот способ растяжки легко осуществим в готовых приемниках с одним или двумя широкими КВ диапазонами. Практически это означает введение двухступенчатой настройки, при которой вначале с помощью основного конденсатора ведется грубая настройка, а затем с помощью дополнительного конденсатора — точная настройка.

3. ОСОБЕННОСТИ СУПЕРГЕТЕРОДИННОГО ПРИЕМА НА РАСТЯНУТЫХ КВ ДИАПАЗОНАХ

Супергетеродинный прием на коротких волнах имеет свои особенности. Первая из них относится к сопряжению контуров.

Для настройки супергетеродинного приемника на сигналы нужной радиостанции необходимо осуществить настройку контуров входного устройства, усилителя высокой частоты и контура гетеродина таким образом, чтобы частота принимаемой радиостанции преобразовывалась в частоту, соответствующую настройке усилителя промежуточной частоты. Схемно-конструктивное выполнение контуров, обеспечивающее их одновременную перестройку, называется сопряжением контуров. Следует помнить, что точная настройка на станцию обеспечивается только настройкой гетеродина, так как после преобразователя стоит узкополосный усилитель промежуточной частоты. Неточность сопряжения выражается в том, что при точной настройке гетеродина сигнал попадает не на вершину резонансной характеристики входного устройства, а на ее скат, что приводит к уменьшению чувствительности приемника. Если ширина диапазона существенно больше полосы пропускания входного устройства, то необходимо тщательно выполнить сопряжение контуров, ибо отклонение от точного сопряжения будет ухудшать чувствительность приемника. Такое сопряжение обязательно в ДВ, СВ и широком КВ диапазонах. В КВ диапазоне при использовании растянутой настройки сопряжение контуров упрощается. Это объясняется тем, что ширина полосы пропускания входного устройства становится немногим меньше ширины растянутого диапазона. В первую очередь это относится к верхней части КВ диапазона. Так, например, в диапазоне 11,7—11,9 *Мгц* (25 *м*) при добротности контуров $Q = 80$ полоса пропускания входного устройства составляет примерно 150 *кгц*, а величина перестройки входного устройства и гетеродина — 200 *кгц*. В этом случае точное сопряжение контуров теряет смысл,

так как при практически возможной расстройке входного устройства относительно частоты сигнала последний не выходит за пределы полосы пропускания входного устройства.

Второй особенностью супергетеродинного приема является наличие «зеркальной» помехи и «зеркальной» настройки.

Возможность существования «зеркальной» помехи и «зеркальной» настройки заложена в самом принципе работы супергетеродинного приемника. Для выбранной частоты гетеродина всегда могут существовать две станции, частоты которых лежат по обе стороны от частоты гетеродина и отстоят от нее на величины, равные промежуточной частоте. Частота одной из этих станций «полезная», а частота другой является «зеркальной» помехой. Преобразователь в одинаковой степени выделяет промежуточную частоту вне зависимости от того, выше или ниже частоты гетеродина расположен поступающий на него сигнал. Только входное устройство, настраиваемое на одну из этих частот, определяет, какая из них «полезная». Ослабление «зеркальной» помехи зависит только от избирательных свойств входного устройства.

Аналогично в приемнике с широким диапазоном для выбранной станции могут существовать два значения частоты гетеродина, лежащие по обе стороны частоты сигнала и отстоящие от нее на величину промежуточной частоты. В этом случае одна и та же станция может прослушиваться в двух точках диапазона. Это явление называется «зеркальной» настройкой. Очевидно, «зеркальная» настройка может наблюдаться только в тех случаях, когда ширина диапазона настройки приемника больше удвоенного значения промежуточной частоты, а избирательность входного устройства низкая. Поэтому в приемниках с растянутыми диапазонами, где ширина растянутого диапазона почти всегда меньше удвоенного значения промежуточной частоты, «зеркальная» настройка вообще исключается. Возможность появления «зеркальной» помехи в любом случае сохраняется.

4. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ РАСТЯНУТЫХ ДИАПАЗОНОВ

Рассмотрев особенности приема на коротких волнах, легко оценить те преимущества, которые дает применение растянутых диапазонов. Эти преимущества заключаются в следующем: 1) настройка приемника становится легкой и удобной, так как резко уменьшается плотность настройки; 2) для приема используются только интересные для радиослушателя и радиолюбителя участки КВ диапазона; 3) полностью устраняется «зеркальная» настройка приемника; 4) существенно снижаются требования к точности сопряжения контуров входного устройства и гетеродина.

Вместе с тем применение растянутых диапазонов обладает следующими недостатками:

1. Замена одного или двух КВ диапазонов на несколько растянутых неизбежно влечет за собой усложнение схемы и конструкции приемника и как следствие усложнение первичной регулировки приемника.

2. Очень важное значение приобретает стабильность частоты гетеродина. Изменение частоты гетеродина вследствие колебаний питающих напряжений, прогрева контуров, радиоламп и других деталей приводит к перестройке приемника на другую частоту, т. е. к частичной или полной потере настройки на выбранную станцию. В широком КВ диапазоне это явление лишь вызывает необходи-

мость периодической подстройки приемника. В растянутом диапазоне уход частоты гетеродина может привести к тому, что интересующая нас часть диапазона окажется за пределами возможной настройки. Поясним это на примере.

Допустим, что частота гетеродина изменилась на 0,5%. При частоте гетеродина 12 *Мгц* (для диапазона 25 *м*) уход настройки составит 60 *кгц*. При ширине диапазона 200 *кгц* это означает, что настройка приемника сместилась более чем на 25% шкалы настройки. Таким образом, крайний участок диапазона может оказаться за пределами шкалы настройки.

3. Этот недостаток, также связанный с нестабильностью частоты гетеродина, заключается в трудности сохранения градуировки шкалы настройки приемника. В данном случае к относительно кратковременной нестабильности частоты гетеродина добавляется уход частоты последнего из-за старения радиодеталей. Старение радиодеталей с течением времени вызывает изменение градуировки шкалы.

Глава вторая

СХЕМЫ РАСТЯНУТОЙ НАСТРОЙКИ И ИХ РАСЧЕТ

5. ОСНОВНЫЕ СХЕМЫ РАСТЯНУТОЙ НАСТРОЙКИ И ПРИНЦИП ИХ РАСЧЕТА

Во всеволновых приемниках, имеющих наряду с КВ диапазонами ДВ и СВ диапазоны, для перестройки в подавляющем большинстве случаев используются конденсаторы переменной емкости. При повороте оси конденсатора C примерно на 180° емкость его изменяется от 10—15 *пф* (начальная емкость $C_н$) до 400—500 *пф* (конечная емкость $C_к$).

Коэффициент перекрытия по емкости K_C таких конденсаторов, равный отношению конечной емкости к начальной, т. е. $K_C=C_к/C_н$, составляет примерно 30—40. Для растянутых диапазонов, как это было выяснено в гл. 1, требуемое изменение емкости контура составляет всего от 3 до 8% в зависимости от частоты диапазона и его ширины, т. е. $K_C \approx 1{,}03 \div 1{,}08$. Из этого видно, что для того чтобы получить растянутый диапазон, необходимо искусственно уменьшить пределы изменения емкости конденсатора с большим перекрытием. Это достигается применением последовательно-параллельного включения конденсаторов постоянной и переменной емкости.

Рассмотрим на конкретном примере, как влияет включение конденсатора постоянной емкости последовательно и параллельно конденсатору переменной емкости. Пусть емкость конденсатора настройки C_1 (рис. 2) составляет 15—450 *пф*. Коэффициент перекрытия такого конденсатора равен 30. Подключим к нему конденсаторы постоянной емкости и определим минимальную и максимальную емкости при разных схемах соединения. При параллельном включении конденсатора $C_{пар}$ емкостью 100 *пф* (рис. 2,*а*) минимальная емкость $C_{мин}=115$ *пф*, максимальная емкость $C_{макс}=550$ *пф*, коэффициент перекрытия $K_C=4{,}6$. При последовательном включении конденсатора $C_{посл}$ емкостью 20 *пф* (рис. 2,*б*) $C_{мин}=8{,}6$ *пф*, $C_{макс}=19{,}1$ *пф*, $K_C=2{,}2$. При последовательно-параллельном включении

конденсатора $C_{пар}$ емкостью 100 *пф* и конденсатора $C_{посл}$ емкостью 20 *пф* $C_{мин}=108{,}6$ *пф*, $C_{макс}=119{,}1$ *пф* и $K_C=1{,}1$ при включении по схеме на рис. 2,*в* и $C_{мин}=17$ *пф*, $C_{макс}=19{,}3$ *пф* и $K_C=1{,}14$ при включении по схеме на рис. 2,*г*.

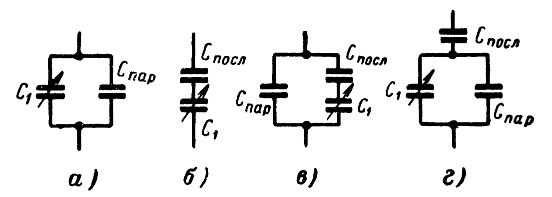


Рис. 2. Схемы включения конденсаторов постоянной и переменной емкости.

Из этих примеров наглядно видно, что, применяя ту или иную схему включения конденсаторов постоянной емкости (соответственно рассчитав их), можно уменьшить коэффициент перекрытия по емкости до нужной величины.

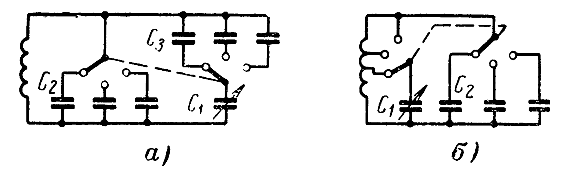


Рис. 3. Схемы растянутой настройки с общей катушкой индуктивности.

Конденсатор постоянной емкости, включаемый последовательно с конденсатором переменной емкости, называется укорачивающим, а включаемый параллельно — удлиняющим.

Емкость удлиняющего конденсатора определяет минимальную емкость контура, т. е. максимальную частоту растягиваемого диапа-

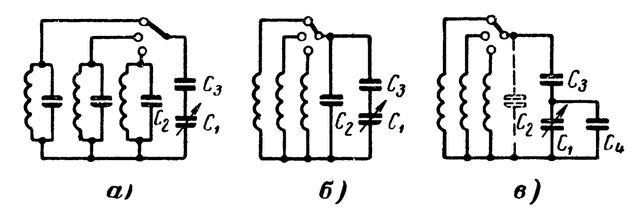


Рис. 4. Схемы растянутой настройки с отдельными катушками индуктивности.

зона (емкость конденсатора C_1 минимальна). Емкость укорачивающего конденсатора определяет максимальную емкость контура, т. е. минимальную частоту растягиваемого диапазона (емкость конденсатора C_1 максимальна). Конденсатором C_1 осуществляется перестройка по диапазону.

Для создания приемника с несколькими растянутыми диапазонами применяется, как правило, схема растяжки с последовательно-параллельным включением конденсаторов постоянной емкости (рис. 2,*в* и *г*). Существуют две основные разновидности этих схем растяжки: схема с одной постоянной для всех растягиваемых диапазонов катушкой индуктивности и схема с отдельными для каждого диапазона катушками индуктивности. В первом случае растяжка может быть выполнена либо применением укорачивающих C_3 и удлиняющих C_2 конденсаторов (рис. 3,*а*), либо с применением секционированной катушки и удлиняющих конденсаторов C_2 (рис. 3,*б*).

Во второй разновидности схемы растяжка может быть выполнена либо с применением общего для всех поддиапазонов укорачивающего конденсатора C_3 (рис. 4,*а*), либо с применением общих укорачивающего C_3 и удлиняющего $C_2(C_4)$ конденсаторов (рис. 4,*б* и *в*).

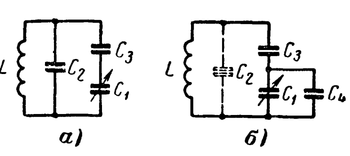


Рис. 5. Расчетные схемы растянутой настройки с различным включением удлиняющего конденсатора.

Все эти схемы растяжки диапазонов могут быть сведены к двум расчетным схемам (рис. 5), так как методика расчета их практически одинакова.

Обычно при расчете известны: частотные границы диапазона, т. е. максимальная $f_{макс}$ и минимальная $f_{мин}$ частоты растягиваемого диапазона (выбираются при разбивке диапазонов); начальная $C_н$ и конечная $C_к$ емкости конденсатора C_1 и минимальная емкость контура $C_{мин}$, складывающаяся из всех емкостей контура при $C_1 = C_н$; обычно $C_{мин}$ составляет 50—100 *пф*.

При расчете целесообразно выбирать $C_{мин}$ даже несколько больше. Если для расчета выбирать $C_{мин}$ очень малой, то может оказаться, что реальная $C_{мин}$ больше расчетной и потребуется пересчитать схему.

Целью расчета является определение индуктивности катушки L, укорачивающей емкости C_3 и удлиняющей емкости C_2 (C_4).

Минимальная частота диапазона $f_{мин}$ определяется максимальной емкостью контура

$$C_{макс} = \frac{25\,330}{f_{мин}^2 L}, \qquad (1)$$

а максимальная частота — минимальной емкостью контура

$$C_{мин} = \frac{25\,330}{f_{макс}^2 L}, \qquad (2)$$

где C выражено в пикофарадах, f — в мегагерцах, а L — в микрогенри.

Дальнейший расчет произведем отдельно для схем на рис. 5,*а* и *б*.

Для $f_{мин}$ контура, изображенного на рис. 5,*а*, $C_1 = C_н + \delta C$, где $\delta C = C_к - C_н$.

В этом случае максимальная емкость контура

$$C_{\text{макс}} = C_2 + \frac{(C_{\text{н}} + \delta C)\, C_3}{C_{\text{н}} + \delta C + C_3}. \tag{3}$$

Для $f_{\text{макс}}$ этого же контура $C_1 = C_{\text{н}}$. Тогда

$$C_{\text{мин}} = C_2 + \frac{C_{\text{н}} C_3}{C_{\text{н}} + C_3}. \tag{4}$$

Определим максимальное изменение емкости контура в диапазоне

$$\Delta C = C_{\text{макс}} - C_{\text{мин}}. \tag{5}$$

Подставив в выражение (5) выражения (3) и (4) и решив все это относительно C_3, получим:

$$C_3 = \frac{\Delta C\,(\delta C + 2C_{\text{н}}) + \sqrt{[\Delta C\,(\delta C + 2C_{\text{н}})]^2 + 4\,(\delta C - \Delta C)\,(\delta C + C_{\text{н}})\,C_{\text{н}} \Delta C}}{2\,(\delta C - \Delta C)}. \tag{6}$$

Затем, зная C_3, из выражения (4) находим C_2:

$$C_2 = C_{\text{мин}} - \frac{C_{\text{н}} C_3}{C_{\text{н}} + C_3}. \tag{7}$$

В схеме на рис. 5,*б* для определения C_3 следует исключить C_2 и сначала определить C_4. Емкость C_2 представляет собой паразитную емкость $C_{\text{п}}$, складывающуюся из входной $C_{\text{вх}}$ и выходной $C_{\text{вых}}$ межэлектродных емкостей ламп, собственной емкости катушки индуктивности C_L и емкости монтажа $C_{\text{м}}$, т. е.

$$C_{\text{п}} = C_{\text{вх}} + C_{\text{вых}} + C_L + C_{\text{м}}.$$

Межэлектродные емкости ламп должны учитываться в зависимости от схемы и коэффициента включения лампы в контур. Обычно величина $C_{\text{п}}$ составляет 25—50 *пф*.

Емкость C_0 контура без учета паразитных емкостей равна:

$$C_{01} = C_{\text{макс}} - C_2 = C_{\text{макс}} - C_{\text{п}}; \tag{8}$$

$$C_{02} = C_{\text{мин}} - C_2 = C_{\text{мин}} - C_{\text{п}}. \tag{9}$$

Для рассматриваемой схемы максимальная емкость контура

$$C_{\text{макс}} = C_2 + \frac{(C_4 + C_{\text{н}} + \delta C)\, C_3}{C_4 + C_{\text{н}} + \delta C + C_3}. \tag{3а}$$

Минимальная емкость контура

$$C_{\text{мин}} = C_2 + \frac{(C_4 + C_{\text{н}})\, C_3}{C_4 + C_{\text{н}} + C_3}. \tag{4а}$$

Подставляя выражения (3а) и (4а) соответственно в выражения (8) и (9), получаем:

$$C_{01}=\frac{(C_4+C_н+\delta C)C_3}{C_4+C_н+\delta C+C_3}; \qquad (10)$$

$$C_{02}=\frac{(C_4+C_н)C_3}{C_4+C_н+C_3}. \qquad (11)$$

Решая уравнение (11) относительно C_3, получаем:

$$C_3=\frac{C_{02}(C_4+C_н)}{C_4+C_н-C_{02}}. \qquad (12)$$

Подставив выражение (12) в выражение (10), найдем:

$$C_4=\frac{\delta C}{2}\left(\sqrt{1+\frac{4C_{01}C_{02}}{\delta C(C_{01}-C_{02})}}-1\right)-C_н. \qquad (13)$$

Таким образом, мы получили основные расчетные формулы, с помощью которых может быть рассчитана практически любая схема растяжки диапазонов. Ниже приводится порядок расчета основных схем растяжки.

6. СХЕМЫ С ОДНОЙ (ПОСТОЯННОЙ) КАТУШКОЙ ИНДУКТИВНОСТИ

Схема с укорачивающими конденсаторами (рис. 3,*а*) содержит общую для всех КВ диапазонов катушку индуктивности и группы переключаемых конденсаторов C_2 и C_3 постоянной или переменной емкости. Индуктивность катушки выбирается по самому высокочастотному диапазону, а емкость конденсатора C_1 выбирается с расчетом перекрытия самого низкочастотного диапазона. Во всеволновом приемнике такое перекрытие по емкости всегда может быть получено.

Преимущество рассматриваемой схемы заключается в простоте начальной настройки с помощью подстроечных конденсаторов. Недостатком схемы является то, что она удобна только при малом числе растягиваемых диапазонов (3—4), причем смежных. Это объясняется тем, что индуктивность катушки выбирается по самому высокочастотному диапазону, и для работы в низкочастотных диапазонах приходится выбирать большие емкости. В результате уменьшаются резонансные сопротивления контуров во входном устройстве и УВЧ и уменьшается усиление приемника. Такой приемник имеет неравномерную чувствительность по диапазонам. Помимо этого, во всеволновом приемнике усложняется схема коммутации диапазонов.

Расчет рассмотренной схемы выполняют в следующем порядке:

1. Выбирают диапазоны и для каждого из них определяют $f_{макс}$ и $f_{мин}$.

2. Выбирают конденсатор переменной емкости C_1 и определяют $C_н$ и δC ($\delta C=C_к-C_н$).

3. Выбирают минимальную емкость контура $C_{мин}$ для самого высокочастотного диапазона. Эта емкость обычно составляет 50—

100 *пф*; чем больше $C_{мин}$ по сравнению с $C_п$, тем меньше влияние смены ламп на настройку контура.

4. Из выражения (2) определяют индуктивность катушки

$$L = \frac{25\,330}{f^2_{макс} C_{мин}}. \qquad (14)$$

Далее все величины определяют для каждого диапазона отдельно.

5. Определяют $C_{макс}$ и $C_{мин}$ по формулам (1) и (2).

6. По формуле (5) определяют ΔC.

7. По формуле (6) определяют емкость C_3.

8. По формуле (7) находят емкость C_2.

Схема с секционированной катушкой (рис. 3,*б*) отличается от предыдущей только тем, что уменьшение перекрытия конденсатора переменной емкости C_1 достигается включением его параллельно части витков катушки индуктивности. В этом случае емкость этого конденсатора пересчитывается в контур не полностью, а пропорционально квадрату коэффициента включения $p=n/N$, где N — число витков всей катушки индуктивности, а n — число витков той части катушки, к которой подключается конденсатор.

Емкость контура

$$C = p^2 C_1 + C_2. \qquad (15)$$

Так как емкость конденсатора C_1 изменяется от $C_н$ до $C_н + \delta C$, то максимальное изменение емкости контура

$$\Delta C = C_{макс} - C_{мин} = p^2 \delta C. \qquad (16)$$

Подбирая коэффициент включения p, можно обеспечить нужное перекрытис выбранного диапазона.

Выбор минимальной емкости контура, соответствующей максимальной частоте каждого диапазона, производится подбором емкости конденсатора C_2, который может быть выполнен как набор переключаемых конденсаторов постоянной емкости.

Рассмотренная схема довольно проста и требует небольшого числа деталей. Недостатком этой схемы является уменьшение резонансного сопротивления контура входного устройства и чувствительности приемника на низкочастотных диапазонах и усложнение начальной настройки.

Расчет схемы выполняется в следующем порядке:

1. Выбирают $f_{макс}$ и $f_{мин}$ для каждого диапазона, конденсатор переменной емкости C_1 и минимальную емкость контура $C_{мин}$.

2. Для самого высокочастотного диапазона определяют индуктивность катушки по формуле (14).

3. Для самого низкочастотного диапазона определяют ΔC по формуле

$$\Delta C = \frac{25\,330}{L}\left(\frac{1}{f^2_{мин}} - \frac{1}{f^2_{макс}}\right). \qquad (17)$$

Для всех остальных диапазонов величина ΔC остается постоянной и дает запас по перекрытию.

4. Из выражения (16) определяют коэффициент включения

$$p = \sqrt{\frac{\Delta C}{\delta C}}. \qquad (18)$$

5. По формуле (2) определяют $C_{мин}$ для каждого диапазона, исключая самый высокочастотный, для которого $C_{мин}$ выбрана.

6. Для каждого диапазона из выражения (15) определяют емкость конденсатора C_2:

$$C_2 = C_{мин} - p^2 C_н. \qquad (19)$$

Необходимо помнить, что емкость конденсатора C_2, устанавливаемого в схеме, должна быть уменьшена по сравнению с вычисленной по формуле (19) на величину паразитной емкости $C_п = 25$—50 *пф*.

7. СХЕМЫ С ОТДЕЛЬНЫМИ КАТУШКАМИ ИНДУКТИВНОСТИ

Преимущество схем с отдельными катушками индуктивности состоит в более простом способе переключения диапазонов, особенно во всеволновых приемниках.

Кроме того, приемник с такими схемами растяжки имеет более равномерную чувствительность по диапазонам, так как резонансные сопротивления контуров на разных диапазонах близки по своим значениям. Недостатками таких схем являются необходимость изготовления большого числа катушек индуктивности и усложнение начальной настройки. Как указывалось выше, существует два варианта схем такого типа с общим укорачивающим конденсатором: с отдельными для каждого диапазона удлиняющими конденсаторами C_2 (рис. 4,*а*) и с общим удлиняющим конденсатором C_2 (C_4) (рис. 4,*б* и *в*). К преимуществам первой схемы относится возможность получения растяжки каждого диапазона на всю шкалу настройки. Некоторым недостатком схемы является сравнительно большое количество деталей. Преимущество второй схемы заключается в простоте коммутации и малом количестве деталей. Существенным недостатком схемы с общим удлиняющим конденсатором является невозможность добиться растяжки всех диапазонов на всю шкалу настройки, так как чем выше диапазон, тем меньше места он занимает по шкале. Поэтому применять схему с общим удлиняющим конденсатором при количестве растянутых диапазонов более трех-четырех нецелесообразно. Этот недостаток несколько сглаживается в тех случаях, когда с возрастанием частоты диапазона возрастает и его ширина.

Порядок расчета схемы растяжки с отдельными катушками и общим укорачивающим конденсатором (рис. 4,*а*):

1. Для каждого диапазона выбирают $f_{макс}$ и $f_{мин}$ и $C_{мин}$ контура, выбирают конденсатор переменной емкости C_1 ($C_н$ и δC).

2. Для $f_{макс}$ самого высокочастотного диапазона по формуле (14) определяют индуктивность катушки L_1.

3. По L_1 и $f_{мин}$ этого же диапазона по формуле (1) определяют $C_{макс}$.

4. По формуле (5) определяют величину ΔC, которая сохраняется постоянной для всех диапазонов, а L и C_2 для каждого диапазона меняются.

5. Для каждого диапазона определяют индуктивности катушек по формуле

$$L = \frac{25\,330}{\Delta C}\left(\frac{1}{f^2_{мин}} - \frac{1}{f^2_{макс}}\right), \qquad (20)$$

где L выражено в микрогенри, ΔC — в пикофарадах, $f_{мин}$ и $f_{макс}$ — минимальная и максимальная частоты рассчитываемого диапазона в мегагерцах.

6. По формуле (2) определяют минимальную емкость контура $C_{мин}$ для данного диапазона.

7. По формуле (6) определяют емкость укорачивающего конденсатора C_3.

8. По формуле (7) для данного диапазона определяют емкость удлиняющего конденсатора C_2.

Необходимо отметить, что в рассматриваемой схеме при выбранном конденсаторе C_1 (т. е. при выбранных $C_н$ и δC) емкость укорачивающего конденсатора C_3 зависит только от ΔC. Величину ΔC легко сделать постоянной для всех диапазонов, так как при заданных границах диапазонов всегда можно подобрать необходимую индуктивность катушек L, что следует из выражения (20). Таким образом, при применении отдельных катушек индуктивности с подстроечными конденсаторами любой диапазон можно растянуть на всю шкалу приемника. Если вместо подстроечных конденсаторов применить конденсаторы постоянной емкости (C_2 на рис. 4,*а*), то начальную настройку следует производить сердечниками катушек индуктивности.

Расчет схемы с отдельными катушками индуктивности и с общими удлиняющим C_2(C_4) и укорачивающим C_3 конденсаторами (рис. 4,*б* и *в*) выполняют в следующем порядке:

1. Выбирают $f_{макс}$ и $f_{мин}$ для каждого диапазона, конденсатор C_1 ($C_н$ и δC) и $C_{мин}$.

2. Для самого низкочастотного диапазона (будем считать его первым) по формуле (14) определяют индуктивность катушки L_1 (здесь $f_{макс}$ — верхняя граница самого низкочастотного диапазона).

3. Далее по формуле (17) определяют необходимое для перекрытия данного диапазона изменение емкости контура ΔC. Нужно помнить, что в этой схеме величины емкостей C_2 и C_3 и, следовательно, $C_{мин}$, $C_{макс}$ и ΔC остаются постоянными для всех растягиваемых диапазонов. По этой причине на более высокочастотных диапазонах перекрытие по частоте увеличивается. Пользуясь приближенной формулой, можно оценить ширину каждого диапазона Δf при выбранных ΔC и $C_{мин}$:

$$\Delta f \approx f_{ср} \frac{\Delta C}{2C_{ср}}, \qquad (21)$$

где $f_{ср} \approx \frac{f_{макс} + f_{мин}}{2}$, т. е. средняя частота растягиваемого диапазона, а $C_{ср} = C_{мин} + \frac{\Delta C}{2}$.

Рассчитав таким образом для каждого диапазона его ширину, можно оценить, как заданный диапазон укладывается по шкале настройки. Для всех растягиваемых диапазонов Δf должна быть не меньше заданной $\Delta f_0 = f_{макс} - f_{мин}$. Если для какого-либо диапазона величина Δf окажется меньше заданной Δf_0, то следует увеличить ΔC. При этом границы первого диапазона несколько расширятся.

Более точная оценка укладки диапазона может быть выполнена следующим образом: по формуле (14) рассчитывают индуктивность

L_2 для второго диапазона и производят проверку нижней границы второго диапазона по формуле

$$f_{мин} = \frac{159}{\sqrt{L_2 (C_{мин} + \Delta C)}}, \qquad (22)$$

где $f_{мин}$ выражена в мегагерцах, L_2 — в микрогенри, $C_{мин}$ и ΔC — в пикофарадах.

Если полученная $f_{мин}$ окажется выше заданной для рассчитываемого диапазона, то ΔC следует несколько увеличить и произвести повторную проверку $f_{мин}$.

Таким же образом рассчитывают катушки индуктивности для всех диапазонов и проводят проверку укладки $f_{мин}$.

Следует иметь в виду, что с ростом частоты диапазона возрастает и нестабильность частоты гетеродина. Поэтому при переходе к более высокочастотному диапазону полезно увеличивать ширину диапазона по сравнению с заданным.

После расчета индуктивностей катушек для всех диапазонов производится расчет емкостей укорачивающего и удлиняющего конденсаторов.

Порядок дальнейшего расчета для схемы на рис. 4,*б* таков:

4. По формуле (6) рассчитывают емкость укорачивающего конденсатора C_3.

5. По формуле (7) рассчитывают емкость удлиняющего конденсатора C_2 с учетом всех паразитных емкостей; емкость самого удлиняющего конденсатора определяется как разность между емкостью C_2 и паразитной емкостью $C_п$.

Для схемы на рис. 4,*в* порядок дальнейшего расчета таков:

4. Находят емкость

$$C_{макс} = C_{мин} + \Delta C.$$

5. Так как в этом случае $C_2 = C_п$, то легко определить емкости контура C_{01} и C_{02} по формулам (8) и (9).

6. По формуле (13) находят емкость удлиняющего конденсатора C_4.

7. Емкость укорачивающего конденсатора C_3 находят по формуле (12).

8. РАСТЯЖКА ВНУТРИ ДИАПАЗОНА

Наиболее простым способом растяжки диапазона в очень небольших пределах является растяжка внутри широкого КВ диапазона, осуществляемая конденсатором малой переменной емкости. Этот вспомогательный конденсатор устанавливается дополнительно к основному конденсатору переменной емкости в контуре гетеродина и не имеет шкалы. Грубая настройка на принимаемую станцию производится основным конденсатором, а точная настройка — вспомогательным. Такой метод растяжки облегчает настройку на выбранную станцию. Однако при переходе от низкочастотной части диапазона к более высокочастотной плотность настройки изменяется в широких пределах. Рассмотрим это на конкретном примере.

Допустим, что приемник имеет широкий КВ диапазон — от 3,5 до 12 *Мгц* (80—25 *м*). Для перекрытия такого диапазона емкость в контуре необходимо изменять примерно от $C_{мин} = 45$ *пф* до $C_{макс} = 550$ *пф*. Если параллельно катушке индуктивности контура подключить конденсатор малой переменной емкости (назовем его

растягивающим), например от 2 до 7 *пф*, то в низкочастотной части диапазона можно перестроить контур на величину

$$\Delta f_{мин} \approx \frac{f_{мин}}{2} \frac{\Delta C_р}{C_{макс}} = \frac{3,5}{2} \frac{5}{550} \approx 0,016\ \textit{Мгц} = 16\ \textit{кгц},$$

где $\Delta f_{мин}$ — изменение частоты настройки контура в низкочастотной части диапазона;

$\Delta C_р$ — перекрытие по емкости растягивающего конденсатора, $\Delta C_р = 7-2 = 5$ *пф*.

В высокочастотной части диапазона

$$\Delta f_{макс} \approx \frac{f_{макс}}{2} \frac{\Delta C_р}{C_{мин}} = \frac{12}{2} \frac{5}{45} \approx 0,67\ \textit{Мгц} = 670\ \textit{кгц}.$$

Как видно из примера, в низкочастотной части диапазона плотность настройки на 1° поворота оси растягивающего конденсатора составляет менее 100 *гц*, а в высокочастотной части диапазона около 4 *кгц* (полагаем, что емкость растягивающего конденсатора изменяется от минимальной до максимальной при повороте его оси на 180°).

Сопоставляя полученные плотности настройки с приведенными в гл. 1, можно сказать, что растягивающий конденсатор выполняет роль электрического верньера, «замедление» которого сильно уменьшается от начала диапазона к концу.

В рассматриваемом случае это замедление уменьшается примерно с 500 до 12 раз. Очевидно, что если замедление электрического верньера соизмеримо с замедлением, даваемым механическим верньером основного конденсатора, то рассматриваемый способ растяжки внутри диапазона не дает существенных преимуществ перед механической растяжкой.

Еще более существенным недостатком рассматриваемой схемы растяжки является нарушение сопряжения контуров входного устройства и гетеродина, в результате чего принимаемая станция может оказаться вне полосы пропускания входного устройства. Это видно и из приведенного примера. При полосе пропускания входного устройства 120—200 *кгц* на частоте настройки 12 *Мгц* перестройка гетеродина растягивающим конденсатором на 670 *кгц* приводит к тому, что принимаемый сигнал выходит далеко за пределы полосы пропускания входного устройства и чувствительность приемника в области больших расстроек заметно ухудшается.

Для нормальной работы приемника необходимо, чтобы отклонение от точного сопряжения контуров гетеродина и входного устройства в КВ диапазоне было не более 0,5% от частоты настройки входного контура. Для приемника, имеющего усилитель высокой частоты, отклонение от точного сопряжения должно быть еще меньше — 0,2÷0,3%.

Если примириться с некоторым ухудшением чувствительности и избирательности приемника, то величину отклонения от точного сопряжения можно увеличить до 1—2%. Так как величина перестройки приемника растягивающим конденсатором увеличивается от низкочастотной части диапазона к высокочастотной, то величи-

ну перестройки следует выбирать порядка 1 — 1,5% от верхней частоты диапазона. При этом необходимо иметь в виду, что чем больше величина перестройки, тем меньше растяжка, т. е. выше плотность настройки, приведенная к оси растягивающего конденсатора. Для нашего случая (диапазон 3,5—12 *Мгц*) можно выбрать величину перестройки $\Delta f_р=120$ *кгц* (1% от максимальной частоты диапазона $f_{макс}$). При этом плотность настройки, приведенная к оси растягивающего конденсатора, $П_р \approx 0,7$ *кгц/град*. Требуемое перекрытие растягивающего конденсатора $\Delta C_р$ может быть определено по приближенной формуле:

$$\Delta C_р \approx 2 \frac{\Delta f_р}{f_{макс}} C_{мин},$$

где $\Delta C_р$ и $C_{мин}$ выражены в пикофарадах ($C_{мин}$ — минимальная емкость контура с учетом всех имеющихся в контуре емкостей), а $\Delta f_р$ и $f_{макс}$ — в мегагерцах.

Для нашего случая при $C_{мин}=45$ *пф*

$$\Delta C_р \approx 2 \frac{0,120}{12} 45 \approx 1 \text{ пф}.$$

Конденсатор с таким перекрытием по емкости позволит сделать удобной настройку в верхней части диапазона при небольшом ухудшении чувствительности и избирательности приемника.

В нижней части диапазона величина перестройки будет равна:

$$\Delta f_{мин} \approx \frac{f_{мин}}{2} \frac{\Delta C_р}{C_{макс}} = \frac{3,5}{2} \frac{1}{550} = 0,0032 \text{ Мгц} = 3,2 \text{ кгц}.$$

Очевидно, что в низкочастотной части диапазона влияние растягивающего конденсатора на настройку очень мало.

Расчет схемы растяжки внутри широкого КВ диапазона по существу сводится к определению требуемой величины перекрытия по емкости растягивающего конденсатора. Как правило, эта величина очень мала и составляет от долей до единиц пикофарад.

Для получения такого малого перекрытия по емкости можно либо применить воздушный конденсатор переменной емкости с двумя пластинами и достаточно большим зазором между ними, либо включить последовательно с растягивающим укорачивающий конденсатор. Емкость укорачивающего конденсатора может быть рассчитана по формуле (6), в которой $\Delta C=\Delta C_р$; δC — перекрытие по емкости имеющегося конденсатора, используемого в качестве растягивающего; $C_н$ — его начальная емкость; а $C_з$ — емкость укорачивающего конденсатора.

Необходимо помнить, что включение растягивающего конденсатора в контур готового приемника несколько увеличивает минимальную емкость контура, что может привести к нарушению начальной регулировки. Поэтому при установке растягивающего конденсатора может потребоваться небольшая регулировка на верхней частоте диапазона.

Вместо растягивающего конденсатора может быть использован варикап, представляющий собой специально сконструированный диод, емкость которого может меняться в широких пределах в за-

висимости от приложенного к нему напряжения. Из графиков, приведенных на рис. 6, видно, что с увеличением приложенного к варикапу напряжения емкость его уменьшается. Основными параметрами варикапа являются: номинальная емкость $C_{ном}$ при номинальном напряжении смещения $U_{см.н}$, максимальная $C_{макс.в}$ и минимальная $C_{мин.в}$ емкости при соответственно минимально и максимально возможных напряжениях смещения и обратный ток $I_{обр}$. Основные электрические параметры варикапов типа Д901 приведены в табл. 1.

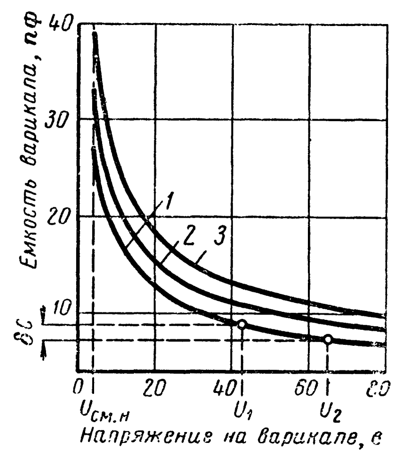


Рис. 6. Характеристики варикапов.

Кривая *1* — для варикапов типа Д901А и Д901Б; кривая *2* — для варикапов типа Д901В и Д901Г; кривая *3* — для варикапов типа Д901Д и Д901Е.

При работе в схеме в качестве конденсатора переменной емкости варикап должен быть включен полярностью, обратной по отношению к указанной на его корпусе. Схема включения варикапа в контур гетеродина приведена на рис. 7. Изменение емкости варикапа и, следовательно, перестройка частоты гетеродина производятся с помощью переменного резистора *R*, включенного как потенциометр. Приведенные на рис. 6 типовые графики изменения емкости варикапов Д901А — Д901Е в зависимости от приложенного к ним напряжения являются усредненными и поэтому могут быть использованы только для приближенных расчетов. В действительности отдельные экземпляры варикапов могут отличаться друг от друга по номинальной емкости до 30% в ту или другую сторону, но характер изменения емкости в зависимости от приложенного напряжения для них сохраняется.

Пользуясь приведенным типовым графиком, можно выбрать рабочую область перестройки варикапа. Так как требуемое для рас-

Таблица 1

Параметр	Тип варикапа					
	Д901А	Д901Б	Д901В	Д901Г	Д901Д	Д901Е
Максимальное напряжение смещения, *в*	80	45	80	45	80	45
Обратный ток, *мка* (не более)	1	1	1	1	1	1
Номинальная емкость при $v_{см} = 4$ *в*, *пф*	22—32	22—32	28—38	28—38	34—44	34—44
Коэффициент перекрытия по емкости . .	4	3	4	3	4	3

тяжки перекрытие по емкости мало, то рабочую область желательно выбирать на пологом участке характеристики. Для варикапов типа Д901А, Д901В и Д901Д рабочую область можно выбрать в интервале напряжений от 40 до 70 *в*, а для варикапов типа Д901Б, Д901Г и Д901Е — от 25 до 40 *в*. В этом интервале выбирается перекрытие по емкости варикапа δC и определяются крайние значения напряжений смещения U_1 и U_2. Полезно также по графику оценить среднюю емкость варикапа $C_{\text{ср.в}}$, на величину которой следует уменьшить минимальную емкость контура.

По напряжениям U_1 и U_2 и напряжению источника питания можно рассчитать делитель, состоящий из резисторов R_1, R_2 и R (рис. 7). Ток через делитель можно выбрать 1—2 *ма*. Окончательный выбор R_1 и R_2 делается при регулировке схемы растяжки. Емкость разделительного конденсатора C выбирается примерно в 10 раз больше емкости варикапа (100—200 *пф*).

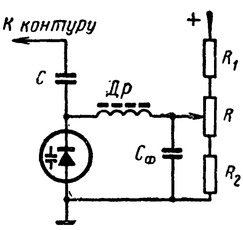


Рис. 7. Схема включения варикапа.

Варикап может быть включен в контур и через укорачивающий конденсатор (им будет конденсатор C). В этом случае пределы изменения напряжения на варикапе увеличиваются. Емкость укорачивающего конденсатора рассчитывается по формуле (6), так же как и в случае с растягивающим конденсатором.

Недостатком схемы растяжки с варикапом является ухудшение стабильности частоты гетеродина из-за зависимости емкости варикапа от изменения питающего напряжения.

Растяжка внутри широкого диапазона может быть выполнена и при помощи дросселя с изменяемой индуктивностью. Схема такой растяжки предельно проста: дроссель с магнитодиэлектрическим сердечником включают параллельно катушке индуктивности контура гетеродина. Изменяя положение сердечника в дросселе, изменяют его индуктивность, а следовательно, и индуктивность всего контура. Это приводит к изменению частоты гетеродина. Для того чтобы в такой схеме оставить почти неизменной индуктивность контурной катушки, т. е. оставить практически той же частоту гетеродина, индуктивность дросселя должна быть во много раз больше, чем индуктивность контурной катушки. Известно, что индуктивность L_0 параллельно соединенных дросселя $L_{\text{др}}$ и контурной катушки L равна:

$$L_0 = \frac{L L_{\text{др}}}{L + L_{\text{др}}}.$$

Очевидно, что чем больше $L_{\text{др}}$, тем ближе значение L_0 к L. Практически индуктивность дросселя $L_{\text{др}}$ выбирают в 10—20 раз больше индуктивности контурной катушки L. Увеличение частоты гетеродина, вызванное уменьшением индуктивности контура за счет введения дросселя, можно скомпенсировать либо настройкой сердечником контурной катушки, либо увеличением числа ее витков. Подстройка контура подстроечным конденсатором или введением дополнительного конденсатора постоянной емкости вызывает изменение перекрытия диапазона и некоторое нарушение сопряжения настройки входного устройства и гетеродина. Поэтому подстройка контура гетеродина конденсатором нежелательна.

Величина перестройки гетеродина по частоте Δf для рассматриваемой схемы, как и в предыдущих случаях, не должна превышать 1,5% от верхней частоты диапазона $f_{\text{макс}}$. Необходимое для растяжки изменение индуктивности дросселя $\Delta L_{\text{др}}$, выраженное в процентах по отношению к индуктивности дросселя $L_{\text{др}}$, можно рассчитать по формуле

$$\frac{\Delta L_{\text{др}}}{L_{\text{др}}} \cdot 100\% \approx 2 \frac{\Delta f}{f_{\text{макс}}} \cdot 100\%,$$

где $L_{\text{др}}$ — индуктивность дросселя при среднем положении его сердечника.

Для случая, когда $\Delta f = 0{,}12$ *Мгц* и $f_{\text{макс}} = 12$ *Мгц*,

$$\frac{\Delta L_{\text{др}}}{L_{\text{др}}} \cdot 100\% \approx 2 \frac{0{,}12}{12} \cdot 100 = 2\%.$$

Основным преимуществом рассмотренной схемы растяжки внутри широкого диапазона является малое изменение величины растяжки при перестройке приемника от высокочастотной к низкочастотной части диапазона. Если в предыдущей схеме с подстроечным конденсатором величина растяжки меняется от 120 до 3,2 *кгц*, то в схеме с дросселем величина растяжки меняется от 120 до 35 *кгц* при тех же границах диапазона (12 — 3,5 *Мгц*).

Недостатком схемы растяжки с дросселем является необходимость изготовления дросселя большой индуктивности с малой собственной емкостью. Дроссель должен быть намотан на полом каркасе, позволяющем перемещать внутри его ферритовый или карбонильный сердечник. Сердечник дросселя должен быть механически связан с ручкой подстройки, выведенной на переднюю панель приемника. Чтобы получить малую плотность настройки ручкой растяжки при малом изменении индуктивности дросселя, приходится усложнять всю конструкцию. Большие размеры дросселя и сложность конструкции затрудняют установку дросселя рядом с контурной катушкой гетеродина. Необходимая величина перестройки индуктивности дросселя подбирается опытным путем.

9. РАСТЯЖКА ВНУТРИ ШИРОКОГО КВ ДИАПАЗОНА В ПРИЕМНИКЕ С ДВОЙНЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ ЧАСТОТЫ

Равномерную растяжку в любой точке широкого КВ диапазона можно получить в приемнике с двойным преобразованием частоты, если перестраивать частоту второго гетеродина в полосе пропускания усилителя первой промежуточной частоты (первого УПЧ). При этом настройка приемника на интересующий участок широкого КВ диапазона осуществляется, как обычно, с помощью конденсатора переменной емкости входного устройства и первого гетеродина. Контуры входного устройства и гетеродина сопряжены между собой для получения постоянного значения частоты первого УПЧ. Как правило, первый УПЧ для КВ приемника с двойным преобразованием частоты работает на частотах от 1,6 до 5,5 *Мгц* с полосой пропускания 100—200 *кгц*. При этом в полосе пропускания первого УПЧ укладывается более десяти станций.

Усилитель второй промежуточной частоты (второй УПЧ) работает на частотах 100—120 *кгц* или 465 *кгц* и имеет узкую полосу

пропускания около 10 *кгц*. Так как второй УПЧ узкополосный, то, перестраивая второй гетеродин, мы можем выбрать любую станцию, находящуюся в полосе пропускания первого УПЧ. Благодаря этому растяжка в любой точке широкого КВ диапазона получается равномерной во всей полосе перекрываемых частот. Кроме того, приемник с двойным преобразованием частоты позволяет получить хорошее ослабление зеркальной помехи и высокую избирательность по соседнему каналу. В таком приемнике можно не добиваться высокой избирательности входного устройства. Однако конструирование приемника с двойным преобразованием частоты под силу лишь квалифицированному радиолюбителю из-за сложности схемы и конструкции приемника.

Глава третья

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЧ ТРАКТА ПРИЕМНИКА С РАСТЯНУТЫМИ ДИАПАЗОНАМИ

Конструирование приемников с растянутыми диапазонами имеет свои особенности, которые необходимо рассмотреть прежде, чем приступать к выбору конкретной схемы приемника и ее расчету.

10. ПРИМЕНЕНИЕ ФИКСИРОВАННОЙ НАСТРОЙКИ КОНТУРОВ И ВОПРОСЫ СОПРЯЖЕНИЯ

На растянутых диапазонах ширина диапазона, как правило, значительно меньше средней частоты диапазона и приближенно равна ширине полосы пропускания контура среднего качества (т. е. имеющего добротность около 50). Это дает возможность отказаться от настройки входного устройства или УВЧ с помощью конденсатора переменной емкости, применив контуры с фиксированной настройкой на средние частоты диапазонов. В этом случае настройка приемника на принимаемую станцию осуществляется только с помощью секции конденсатора переменной емкости гетеродина. При этом достигается значительное упрощение схемы и конструкции приемника.

Приведем пример. Предположим, что растягиваемый диапазон лежит в интервале 11,7—11,9 *Мгц* (25 *м*). Средняя частота диапазона

$$f_{\text{ср}} \approx \frac{f_{\text{макс}} + f_{\text{мин}}}{2} = \frac{11{,}9 + 11{,}7}{2} = 11{,}8 \text{ Мгц}.$$

Определим, какую добротность должен иметь контур, у которого полоса пропускания $2\Delta f$ по уровню 0,7 от резонанса равна ширине диапазона (200 *кгц*)

$$Q = \frac{f_{\text{ср}}}{2\,\Delta f} = \frac{11{,}8}{0{,}2} = 59,$$

что соответствует добротности контура среднего качества. На таком контуре напряжение сигналов, расположенных на краях диапазона, будет на 30% меньше, чем напряжение сигнала, расположенного

в середине диапазона. Это не дает существенного ухудшения чувствительности. Чем меньше ширина растянутого диапазона по сравнению с его средней частотой, тем меньше изменяется напряжение на контуре в пределах диапазона при одной и той же добротности контура.

По приведенным соображениям применение фиксированной настройки оправдано в тех случаях, когда ширина диапазона составляет 2—2,5% от средней частоты диапазона. Это требует использования одиночных контуров, имеющих добротность 40—50. Если расчет показывает, что введение фиксированной настройки требует из-за большой полосы пропускания применения контуров с низкой добротностью (20—30), то целесообразнее использовать связанные контуры (полосовые фильтры) с фиксированной настройкой и со связью больше критической (фактор связи больше 1).

Связанные контуры при связи больше критической позволяют получить сравнительно бо́льшую полосу пропускания при несколько бо́льшем коэффициенте передачи, чем одиночные с той же полосой и той же частотой настройки. Фактор связи в таких контурах следует выбирать в пределах 1,8—2,2. Применение связанных контуров улучшает и избирательность приемника по зеркальному каналу. Если применяемые контуры имеют высокую добротность и ширина их полосы пропускания у́же требуемой для фиксированной настройки, то можно применить шунтирование контуров. Однако использование таких контуров во входном устройстве неизбежно ухудшает чувствительность приемника. Оно тем более заметно, чем сильнее шунтирование контуров. Значение шунтирующего сопротивления для одиночного контура может быть определено по формуле

$$R_{ш} \approx \frac{159}{C\,(2\Delta f - 2\Delta f_0)},$$

где $R_{ш}$ — сопротивление шунта одиночного контура, *ком*;
C — полная емкость контура (включая паразитную и межэлектродные емкости), *пф*;
$2\Delta f$ — требуемая полоса пропускания контура, *Мгц*;
$2\Delta f_0$ — измеренная полоса пропускания нешунтированного контура, *Мгц*.

Шунтирование связанных контуров для расширения полосы пропускания приводит к изменению формы резонансной характеристики. Для сохранения неизменной формы резонансной характеристики при подборе сопротивлений шунтов необходимо одновременно изменять коэффициент связи между контурами. Это наиболее просто осуществляется в связанных контурах с внешней емкостной связью.

Как указывалось выше, применение контуров с фиксированной настройкой в приемнике с растянутыми диапазонами не всегда возможно. Это относится к тем случаям, когда ширина диапазона составляет более 2,5% от средней частоты диапазона (диапазоны 80, 49, 41 *м* и др.). Для работы в этих диапазонах приходится контур входного устройства (УВЧ) делать перестраиваемым с помощью конденсатора переменной емкости. Очевидно, что контуры входного устройства (УВЧ) и гетеродина должны быть сопряжены. Как указывалось в гл. 1, точное сопряжение контуров в трех точках диапазона необходимо на длинных и средних волнах и в широком КВ диапазоне.

На растянутых диапазонах, где полоса пропускания контура входного устройства (УВЧ) ненамного меньше ширины диапазона, в большинстве случаев достаточно получить сопряжение контуров только в середине диапазона. Для диапазона 80 *м* (3,5—4,0 *Мгц*), ширина которого 500 *кгц*, сопряжение необходимо выполнять в трех точках.

11. ВХОДНОЕ УСТРОЙСТВО

Основным назначением входного устройства является передача напряжения сигнала на первый каскад приемника (УВЧ или преобразователь). Для повышения чувствительности приемника необходимо, чтобы передача напряжения из антенны была наибольшей. К этому следует стремиться и с точки зрения выделения сигнала над уровнем внутренних помех (шумов) приемника.

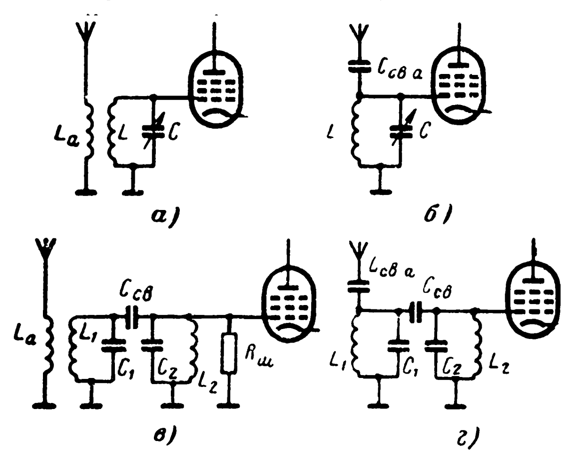


Рис. 8. Связь антенны с контуром.

а — индуктивная с одиночным контуром; *б* — емкостная с одиночным контуром; *в* — индуктивная с полосовым фильтром; *г* — емкостная с полосовым фильтром.

Рассмотрим две схемы связи входного устройства с антенной. В вещательных приемниках на КВ диапазонах наибольшее распространение получила одноконтурная схема входного устройства с индуктивной связью антенны с входным колебательным контуром (рис. 8,*а*). Основным ее достоинством наряду с простотой исполнения является хорошая равномерность передачи напряжения на вход УВЧ или преобразователя при перестройке входного устройства в пределах широкого диапазона частот.

Схема входного устройства с емкостной связью с антенной (рис. 8,*б*) в вещательных приемниках применяется значительно реже, так как неравномерность передачи напряжения, свойственная этой схеме, в широком диапазоне частот очень велика. Для приемника с растянутыми диапазонами этот недостаток не имеет практического значения из-за малого перекрытия по частоте. Поэтому схема входного устройства с емкостной связью, так же как

и схема с индуктивной связью с антенной, может широко использоваться для приемника с растянутыми КВ диапазонами.

В схеме с емкостной связью с антенной емкость конденсатора связи $C_{св.а}$ для КВ диапазонов выбирают от 10 до 30 *пф*. Меньшее значение емкости связи выбирается для более высокочастотных диапазонов. Малая емкость связи приводит к уменьшению передачи напряжения сигнала из антенны в колебательный контур. Большая емкость хотя и увеличивает передачу напряжения сигнала, но делает настройку входного устройства зависимой от параметров антенны, т. е. в первую очередь от ее емкости.

Если приемник рассчитан на работу с определенной антенной, емкость которой известна или может быть измерена, то емкость конденсатора связи может быть увеличена. Емкость антенны, последовательно соединенная с емкостью связи $C_{св.а}$, должна учитываться как часть емкости контура. Если $C_{св.а}$ меньше 30 *пф*, то можно учитывать только ее. Сам контур входного устройства может быть сделан перестраиваемым или с фиксированной настройкой в зависимости от ширины растягиваемого диапазона и добротности контура (см. § 10).

Если во входном устройстве необходимо применить полосовой фильтр, то первый контур его связывают с антенной, а второй — с управляющей сеткой первой лампы приемника. Связь первого контура с антенной может быть как индуктивной (рис. 8,*в*), так и емкостной (рис. 8,*г*). Сам полосовой фильтр наиболее просто можно выполнить по схеме с внешней емкостной связью. В этом случае связь между контурами несложно рассчитать по формуле

$$\beta = kQ,$$

где $\beta = 1{,}8 \div 2{,}2$ — фактор связи;
k — коэффициент связи;
Q — добротность рассчитываемого одиночного контура, входящего в полосовой фильтр (оба одиночных контура одинаковы по добротности);

$$k = \frac{C_{св}}{\sqrt{C_1 C_2}},$$

где $C_{св}$ — емкость связи контуров, *пф*;
C_1 и C_2 — емкости одиночных контуров, входящих в полосовой фильтр, *пф*.

Если $C_1 = C_2 = C$, то

$$k = \frac{C_{св}}{C}.$$

Зная $f_{ср}$ растягиваемого диапазона и выбрав $2\Delta f$ входного устройства, легко определить $Q = f_{ср}/2\Delta f$. Задавшись величиной β, можно определить k. Зная величины k и C, легко определить $C_{св}$.

Следует учитывать, что затухания, вносимые антенной в первый контур и лампой во второй контур полосового фильтра, различны. Поэтому и шунтирующие сопротивления, если они необходимы, для первого и второго контуров различны. Точные значения шунтирующих сопротивлений и емкости связи определяются опытным путем в процессе настройки входного устройства.

12. УСИЛИТЕЛЬ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Большинство приемников средней и низкой чувствительности, к которым относятся приемники II и III классов, не имеет каскада усиления высокой частоты (УВЧ). Причиной этого является в основном стремление упростить и удешевить приемник. УВЧ позволяет значительно повысить чувствительность приемника. Приемник, обладающий высокой чувствительностью, способен принимать очень слабые сигналы и выделять их на фоне помех. Помехи могут быть как внешними, возникающими вне приемника (сигналы других радиостанций, атмосферные разряды, помехи, создаваемые промышленными установками и др.), так и внутренними, возникающими в самом приемнике (собственные шумы приемника).

На ДВ и СВ диапазонах основными видами помех являются внешние помехи. Поэтому улучшение приема, достигаемое на этих диапазонах при введении в приемник УВЧ, невелико, так как повышение чувствительности приемника равным образом влияет на прием сигнала и внешней помехи.

В КВ диапазоне уровень внешних помех сравнительно невелик, и поэтому основным видом помех в этом диапазоне являются собственные шумы приемника. Основным источником шумов в приемнике является его первая лампа, так как ее шумы усиливаются больше, чем шумы последующих ламп. Поэтому совсем не безразлично, какая лампа стоит на входе приемника и в каком режиме она работает. Наибольший шум создают многосеточные лампы — гексоды, гептоды и др., работающие в режиме преобразования частоты. Значительно меньше шумят пентоды, еще меньше триоды.

Важно подчеркнуть, что уровень шума, создаваемого лампой, работающей в режиме преобразования частоты, больше, чем у той же лампы, работающей в режиме усиления высокой частоты. По этой причине каскад УВЧ, поставленный перед преобразователем, значительно снижает собственные шумы приемника относительно принимаемого сигнала, в результате чего повышается чувствительность приемника. Введение УВЧ, имеющего свой резонансный контур, помимо повышения чувствительности, позволяет улучшить избирательность приемника по зеркальному каналу. Если же УВЧ охватить цепью автоматической регулировки усиления (АРУ), то эффективность действия АРУ в приемнике заметно повышается.

Выбор схемы УВЧ для приемника с растянутыми КВ диапазонами нельзя делать в отрыве от схемы входного устройства, так как введение УВЧ сужает полосу пропускания высокочастотной части приемника. Рассмотрим несколько вариантов построения входного устройства и УВЧ.

В схеме на рис. 9,*а* контуры входного устройства и УВЧ перестраиваются по диапазону с помощью конденсаторов переменной емкости C_1 и C_2. Этот вариант схемы широко применяется в вещательных приемниках, имеющих УВЧ, и не требует специального рассмотрения.

В схеме на рис. 9,*б* контур УВЧ перестраивается с помощью конденсатора переменной емкости C_2, а контур входного устройства имеет фиксированную настройку. В этом случае ширина полосы пропускания входного устройства и УВЧ должна быть не меньше ширины растягиваемого диапазона. Перестраиваемый контур рассчитывается как обычно и обязательно сопрягается с контуром гетеродина. Не имеет значения, куда поставить перестраиваемый контур —

во входное устройство или УВЧ. Однако установка перестраиваемого контура во входное устройство позволяет получить несколько лучшую чувствительность приемника, так как полоса пропускания такого контура может быть сделана уже и коэффициент передачи больше, чем у контура с фиксированной настройкой. С конструктивной точки зрения перестраиваемый контур удобнее поставить в УВЧ ближе к гетеродину, так как конденсатор переменной емкости у них общий. Монтаж при этом будет удобнее, а возможность возникновения нежелательной паразитной связи между сеткой и анодом лампы УВЧ будет меньше.

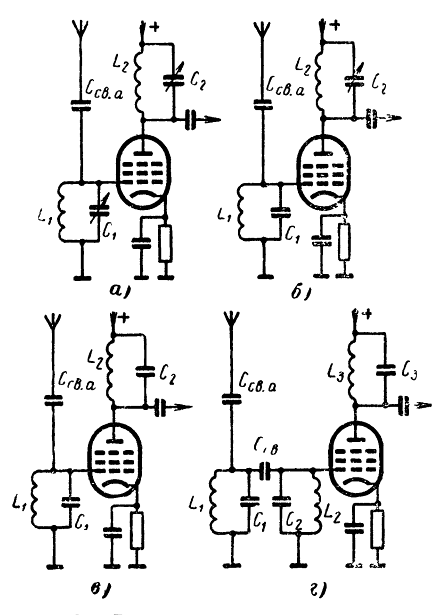


Рис. 9. Варианты построения ВЧ тракта приемника при наличии УВЧ.

а — два одиночных перестраиваемых контура; *б* — два одиночных контура, один из них с фиксированной настройкой; *в* — два одиночных контура с фиксированной настройкой; *г* — один одиночный контур и полосовой фильтр, оба с фиксированной настройкой.

В схеме на рис. 9,*в* контуры входного устройства и УВЧ имеют фиксированную настройку. В этом варианте полоса пропускания высокочастотной части приемника, определяемая обоими контурами, должна быть выбрана равной или несколько больше ширины растягиваемого диапазона. Чтобы выполнить это условие, необходимо полосу пропускания каждого контура, если они одинаковые, сделать в 1,6 (или более) раза больше ширины диапазона. Расширение полосы пропускания контура входного устройства приводит к уменьшению передачи напряжения сигнала из антенны на управляющую сетку первой лампы приемника, т. е. к ухудшению чувствительности. Это ухудшение чувствительности частично компенсируется простотой схемы приемника. Рассмотренный вариант построения входного устройства и УВЧ нецелесообразно применять в тех случаях, когда ширина диапазона составляет более 1,5% от средней частоты диапазона, т. е. когда добротность каждого из контуров приходится выбирать менее 40.

В схеме на рис. 9,*г* используются полосовой фильтр и одиночный контур. Один из них устанавливается во входном устройстве, другой — в УВЧ. Такое сочетание дает возможность получить более равномерное усиление при фиксированной настройке контуров в пределах ширины диапазона. На рис. 10 изображены резонансные характеристики одиночного контура (кривая *1*) и полосового фильтра (кривая *2*) и общая (результирующая) характеристика входного устройства и УВЧ (кривая *3*) для схемы на рис. 9,*г*.

Для получения приведенной на рис. 10 общей характеристики входного устройства и УВЧ необходимо выбирать для полосового фильтра связь больше критической. Фактор связи $\beta=2\div2,4$. Если выбрать полосу пропускания результирующей характеристики равной ширине диапазона, то полоса пропускания каждого из контуров полосового фильтра должна быть в 6,7 раза меньше, а полоса пропускания одиночного контура в 3,35 раза меньше ширины диапазона. Может оказаться, что это условие не может быть выполнено, так как потребуются контуры очень высокой добротности. Так, например, для получения полосы пропускания 300 *кгц*, равной ширине растягиваемого диапазона 7,0—7,3 *Мгц* (41 *м*), потребуются контуры для полосового фильтра, имеющие добротность 160, а для одиночного контура — 80.

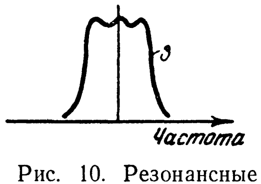


Рис. 10. Резонансные характеристики.

Практически не удается получить в схеме добротности контура более 80—90 из-за вносимых в контур затуханий. Если добротности контуров взять меньше, то результирующая полоса пропускания увеличится во столько раз, во сколько уменьшится добротность контуров. Для того чтобы приблизиться к выбранной полосе пропускания (близкой к ширине диапазона), следует уменьшать связь между контурами полосового фильтра и увеличивать добротность одиночного контура.

Ослабление связи между контурами уменьшает глубину провала двугорбой характеристики полосового фильтра. Подбирая емкость связи в полосовом фильтре и меняя добротности контуров путем их шунтирования, можно получить плоскую вершину результирующей характеристики с нужной полосой пропускания. Так как полосовой фильтр со связью больше критической имеет бóльший по сравнению с одиночным контуром коэффициент передачи напряжения сигнала, то его целесообразно поставить во входное устройство. Это дает некоторый выигрыш в чувствительности. Если связь в полосовом фильтре выбрана близкой к критической, то его лучше поставить в УВЧ.

Из рассмотренных схем построения ВЧ тракта наиболее простой является схема на рис. 9,*в*. Однако ее можно использовать при сравнительно малой ширине диапазона относительно его средней частоты. Наилучшие результаты по чувствительности и избирательности для сравнительно широких диапазонов позволяет получить ВЧ тракт по схеме на рис. 9,*а*. Для его построения необходимо иметь трехсекционный конденсатор переменной емкости. Схему на рис. 9,*г* удобно использовать для сравнительно широких диапазонов. Однако она может быть рекомендована только квалифицированному радиолюбителю. Выбор того или иного варианта построения входного устройства и УВЧ определяется возможностями радиолюбителя, его квалификацией и требованиями, которые он предъявляет к приемнику.

13. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

При конструировании вещательных приемников смеситель и гетеродин, как правило, выполняют на одной частотопреобразовательной лампе. В качестве такой лампы можно использовать триод-геп-

тод 6И1П или триод-пентод 6Ф1П. Лампа 6Ф1П имеет более высокую крутизну преобразования, меньший уровень собственных шумов и предназначена для работы в более высокочастотной части диапазона.

Если гетеродин выполняется на отдельной лампе, то смеситель можно сделать при односеточном преобразовании на высокочастотном пентоде 6Ж1П и при двухсеточном преобразовании на пентоде 6Ж2П. Преобразователь частоты на пентоде, как указывалось выше, создает меньший уровень шума, чем преобразователь на многосеточной лампе. Если же перед преобразователем стоит каскад УВЧ, то это преимущество преобразователя на пентоде теряется, так как шумы приемника определяются лампой УВЧ.

В схеме односеточного преобразования емкость конденсатора связи гетеродина с управляющей сеткой смесителя должна быть малой, чтобы уменьшить взаимное влияние контуров гетеродина и входного устройства или УВЧ. Взаимное влияние особенно сильно сказывается при малом значении промежуточной частоты, т. е. когда частоты принимаемого сигнала и гетеродина достаточно высоки и близки друг к другу. Во избежание этого явления емкость конденсатора связи гетеродина с управляющей сеткой лампы смесителя выбирают равной 2—5 *пф*. Поэтому напряжение, снимаемое с контура гетеродина, должно быть достаточно большим. Напряжение гетеродина на управляющей сетке лампы смесителя должно составлять 1,5—2 *в*. В схеме двухсеточного преобразования частоты сигнал с входного устройства или УВЧ подается на управляющую сетку, а напряжение гетеродина — на третью сетку лампы смесителя. Очевидно, что в такой схеме взаимное влияние контуров гетеродина и входного устройства или УВЧ исключается при наличии соответствующей экранировки и при правильном монтаже. Напряжение гетеродина на пентодной сетке лампы смесителя должно быть около 4—5 *в*.

Вопросу конструирования гетеродинов посвящена следующая глава.

14. ПРИЕМНИК С ДВОЙНЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ ЧАСТОТЫ

Как было показано в гл. 2, приемник с двойным преобразованием частоты дает возможность получить равномерную растяжку КВ диапазонов. При конструировании такого приемника большое значение имеет правильный выбор частоты, на которую настраивают первый УПЧ. Эта частота обычно выбирается в пределах 1,6—5,5 *Мгц*, исключая участки 1,7—2,0 *Мгц* и 3,5—4,0 *Мгц*, т. е. диапазоны работы станций на волнах 160 и 80 *м*. Сигналы радиостанций, расположенных в указанных диапазонах, могут создавать помехи нормальному приему, проникая непосредственно на вход первого смесителя, если резонансная частота первого УПЧ выбрана в этих диапазонах.

На низкочастотных КВ диапазонах значение первой промежуточной частоты выбирается обычно в пределах 1,6—3 *Мгц*, на более высокочастотных диапазонах — в пределах 3—5,5 *Мгц*. Полоса пропускания первого УПЧ, как указывалось выше, выбирается равной 100—200 *кгц*. Более высокой промежуточной частоте соответствует бóльшая ширина полосы пропускания УПЧ. Одновременно выбор более высокой первой промежуточной частоты позволяет получить большее ослабление зеркальной помехи, возникающей при первом преобразовании частоты.

Вторая промежуточная частота должна быть по крайней мере в 1,5—2 раза больше, чем полоса первого УПЧ. В противном случае возможно возникновение зеркальной помехи, попадающей в полосу первого УПЧ. Если ширина полосы пропускания первого УПЧ около 200 *кгц*, то частота, на которую настраивают второй УПЧ, должна быть около 465 *кгц* при ширине полосы пропускания 10 *кгц*.

Если первый УПЧ сделать перестраиваемым одновременно со вторым гетеродином (при этом их контуры должны быть сопряжены), то можно выбрать более узкую полосу пропускания первого УПЧ. При полосе пропускания первого УПЧ 50—80 *кгц* значение второй промежуточной частоты можно взять равным 100—120 *кгц*. Ширина полосы пропускания второго УПЧ и в этом случае остается равной примерно 10 *кгц*. В этих случаях может быть достигнуто необходимое ослабление зеркальной помехи, возникающей при втором преобразовании частоты.

Таким образом, приемник с двойным преобразованием частоты имеет то преимущество, что позволяет получить хорошую отстройку как от сигналов смежных радиостанций, так и от зеркальной помехи. Серьезным недостатком такого приемника является возможность появления помех, возникающих от биений между гармониками первого и второго гетеродинов. Для уменьшения уровня этих помех необходимо разносить друг от друга преобразовательные каскады и гетеродины, очень тщательно их экранировать и тщательно «развязывать» общие провода питания, в том числе и накальные цепи, ибо просачивание даже малых величин напряжения первого гетеродина на второй преобразователь или второго гетеродина на первый преобразователь может послужить причиной возникновения нежелательных «свистов» в приемнике. Уменьшению этих помех способствует сужение полосы пропускания первого УПЧ. С этой точки зрения выполнение приемника с перестраиваемым первым УПЧ оправдано.

В приемнике с двойным преобразованием частоты устойчивость приема определяется стабильностью частоты обоих гетеродинов. В гл. 4 будет показано, что чем выше частота гетеродина, тем больше его влияние на устойчивость приема. Поэтому у первого гетеродина, работающего на более высоких частотах, стабильность частоты должна быть выше, чем у второго гетеродина. По этой причине первый гетеродин обычно выполняют на отдельной лампе, а для второго преобразователя используется многосеточная комбинированная лампа, на триодной части которой и собирается второй гетеродин.

Глава четвертая

УСТОЙЧИВОСТЬ НАСТРОЙКИ ПРИ РАСТЯЖКЕ ДИАПАЗОНОВ

15. ВЛИЯНИЕ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ЧАСТОТЫ ГЕТЕРОДИНА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПРИЕМА

Неустойчивость настройки приемника, обнаруживаемая в процессе приема по уменьшению громкости и ухудшению качества звучания, особенно заметная в высокочастотной части КВ диапазона,

связана с нестабильностью несущей частоты сигнала и частоты гетеродина. Так как стабильность частоты сигнала вещательных радиостанций очень высока, то устойчивость приема в первую очередь определяется стабильностью частоты гетеродина.

Любое изменение частоты гетеродина по сравнению с первоначальным значением приводит к тому, что разность частот гетеродина и принимаемой станции становится отличной от той, на которую настроен УПЧ. В результате этого полоса частот сигнала оказывается смещенной относительно середины полосы пропускания УПЧ

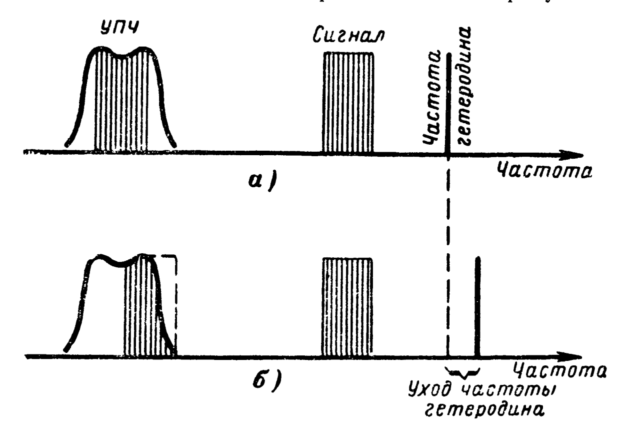


Рис. 11. Прохождение сигнала через УПЧ.
а — при точной настройке гетеродина; *б* — при неточной настройке гетеродина.

(рис. 11). Чем больше это смещение, тем хуже качество звучания и меньше громкость. Значительное изменение частоты гетеродина приводит к тому, что полоса сигнала совсем выходит за пределы полосы пропускания УПЧ. В этом случае прием выбранной станции прекращается полностью и возможна даже перестройка на другую станцию.

Приведем пример: допустим, несущая частота принимаемой станции 3,5 *Мгц*. Ей соответствует частота гетеродина 3,965 *Мгц* при промежуточной частоте 465 *кгц*. Уход частоты гетеродина даже на 0,1% приведет к уходу промежуточной частоты примерно на 4 *кгц*. При полосе пропускания УПЧ 10 *кгц* это означает смещение принимаемого сигнала на край полосы. Если частота гетеродина в 3 раза выше, что соответствует несущей частоте сигнала примерно 11,5 *Мгц*, то и уход промежуточной частоты при той же нестабильности гетеродина будет в 3 раза больше, т. е. около 12 *кгц*. В этом случае промежуточная частота выйдет за пределы полосы пропускания УПЧ. Из этого примера наглядно видно, что нестабильность частоты гетеродина проявляется тем резче, чем выше частота принимаемого сигнала.

Нестабильность гетеродина по-разному проявляется при длительной эксплуатации приемника и в процессе приема станции. При длительной эксплуатации приемника имеет место постепенный уход частоты гетеродина, нарушающий градуировку шкалы приемника.

В процессе приема низкая стабильность частоты гетеродина вызывает необходимость периодической подстройки приемника, а иногда и систематического «слежения» за станцией. В приемнике с широким КВ диапазоном подстройка и «слежение» лишают слушателей известного комфорта и требуют очень точной подстройки из-за большой плотности станций на шкале. Однако «уход» станции по шкале очень мал.

У приемника с растянутыми КВ диапазонами при такой же нестабильности частоты гетеродина «уходы» по шкале настройки могут оказаться столь большими, что «слежение» за станцией станет затруднительным и нормальный прием окажется совсем невозможным. Эта важная особенность конструирования приемника с растянутыми КВ диапазонами должна быть учтена радиолюбителем в самом начале работы, ибо результаты работы с таким приемником при низкой стабильности частоты гетеродина могут оказаться разочаровывающими.

Поэтому перед радиолюбителем, изготавливающим КВ приемник с растянутыми диапазонами, неизбежно возникает вопрос создания гетеродина повышенной стабильности.

Уменьшение кратковременной нестабильности частоты гетеродина для сохранения устойчивости настройки в процессе приема достигается относительно простыми и доступными средствами. Сохранить же стабильность градуировки шкалы в течение длительного времени технически гораздо более сложно и не всегда доступно радиолюбителю.

Без ясного физического представления об основных причинах нестабильности частоты гетеродина трудно грамотно конструировать радиоприемник с растянутыми диапазонами.

16. ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ЧАСТОТЫ ГЕТЕРОДИНА

Нестабильность частоты гетеродина прежде всего связана с изменением параметров его колебательного контура независимо от того, вызываются ли эти изменения элементами контура или вносятся в него радиолампой или транзистором. Поэтому гетеродин повышенной стабильности не может быть сделан только путем применения специальных «стабильных» схем. Повышение стабильности гетеродина достигается не столько тем или иным начертанием его схемы, сколько правильным сочетанием схемных и конструктивных решений.

Для стабильного гетеродина схема и ее режим неотделимы от конструкции устройства и качества его элементов: катушек индуктивности, конденсаторов постоянной и переменной емкости, переключателей, качества монтажа и др.

Из множества причин, влияющих на частоту гетеродина, следует выделить главные, которые в основном определяют его стабильность. Это в первую очередь изменения температуры, колебание питающих напряжений, механические воздействия (удары, вибрации и др.), влажность, старение радиодеталей и смена радиоламп.

Температура наиболее заметно влияет на частоту гетеродина. Сразу же после включения приемника наблюдается сначала быстрое, а затем постепенно замедляющееся изменение частоты гетеродина. Это явление носит название «выбега» частоты. Быстрое изменение частоты при включении приемника объясняется прежде всего изменением межэлектродных емкостей ламп от прогрева.

Прогрев лампой близлежащих деталей контура гетеродина вызывает дальнейшее более медленное изменение частоты в ту или иную сторону в зависимости от качества деталей и их расположения относительно лампы. Изменение температуры приводит к изменению геометрических размеров отдельных деталей гетеродина и их диэлектрических свойств, вследствие чего изменяются емкость и индуктивность колебательного контура. У транзисторных приемников прогрев деталей отсутствует, однако небольшой выбег частоты имеется. Он вызывается главным образом прогревом эмиттерного перехода транзистора за счет рассеиваемой в нем энергии.

Особенно велико влияние температуры на индуктивность и емкость колебательного контура. При росте температуры внутри приемника катушка индуктивности начинает прогреваться, и диаметр ее витков увеличивается. Это вызывает изменение индуктивности и, следовательно, частоты гетеродина. Можно показать, что для гетеродина, работающего на частоте 12,5 *Мгц* и имеющего катушку индуктивности диаметром около 15 *мм*, возрастание температуры на 30° С вызывает понижение частоты на величину порядка 30 *кгц* (пример приводится для случая, когда специальных мер стабилизации частоты не принято). Для этого же случая прогрев конденсатора емкостью 50 *пф* может вызвать уход частоты гетеродина от 15 до 200 *кгц* и более в ту или иную сторону в зависимости от типа конденсатора.

Колебание питающих напряжений вызывает изменение характеристик ламп, в первую очередь межэлектродных емкостей, крутизны и входного сопротивления. У транзистора при изменении питающих напряжений изменяются емкости переходов, коэффициент усиления по току, входное и выходное сопротивления. Входная или выходная емкость лампы или транзистора составляет некоторую часть контурной емкости, поэтому ее изменения при колебаниях питающих напряжений. неизбежно приводят к нестабильности частоты гетеродина. Изменение входного или выходного сопротивления лампы или транзистора приводит к изменению формы резонансной характеристики контура, что также вызывает уход частоты гетеродина. Уменьшение влияния лампы или транзистора на частоту может быть достигнуто двумя путями: либо стабилизацией питающих напряжений, либо уменьшением коэффициента включения лампы или транзистора в контур. В первом случае стабилизируется режим работы лампы (транзистора) и, следовательно, стабилизируются ее характеристики, во втором случае уменьшается доля емкости и сопротивления, вносимых лампой (транзистором) в колебательный контур.

Механические воздействия. Под воздействием на приемник ударов, вибраций и др. взаимное расположение деталей схемы гетеродина и монтажных проводов может меняться. Даже незначительное изменение монтажа приводит к изменению емкости как между самими элементами монтажа, так и между элементами и шасси. Эта емкость, являющаяся емкостью монтажа, входит в колебательный контур гетеродина. Поэтому ее изменение приводит к изменению частоты гетеродина. Чем выше частота, тем более заметен ее уход. Покажем на конкретном примере, как влияет изменение емкости монтажа на частоту гетеродина.

Монтажный провод толщиной 0,5 *мм* и длиной 3 *см*, расположенный параллельно шасси на расстоянии 1 *мм* от него, образует с шасси емкость около 0,8 *пф*. При приближении провода всего на 0,2 *мм* к шасси его емкость увеличивается примерно на 0,1 *пф*. При частоте

гетеродина 12,5 *Мгц* и емкости контура 50 *пф* такое изменение емкости монтажа дает уменьшение частоты гетеродина примерно на 12,5 *кгц*. В этом случае сигнал полностью выходит из полосы пропускания УПЧ.

Влажность. Ее влияние сводится к тому, что, проникая внутрь радиодеталей и отлагаясь на их поверхности, она изменяет диэлектрические свойства и проводимость изоляционных материалов, что также приводит к изменению емкости и добротности колебательного контура гетеродина, а следовательно, и его частоты.

Старение радиодеталей — это постепенное изменение их электрических свойств. Как правило, это изменение направлено в сторону ухудшения качеств радиодеталей. У радиоламп с течением времени уменьшаются крутизна характеристики и эмиссия катода, у конденсаторов изменяется емкость, у резисторов меняется сопротивление, изоляционные материалы меняют свои диэлектрические свойства. Процесс старения постепенно приводит к нарушению первоначальной настройки приемника, ухудшению чувствительности и нарушению градуировки шкалы из-за изменения частоты гетеродина. Процесс старения ускоряется при многократном изменении температуры.

Смена ламп. Радиолампы одного и того же типа несколько отличаются друг от друга своими характеристиками и межэлектродными емкостями. При смене лампы контур гетеродина расстраивается, что приводит к нарушению градуировки шкалы. Особенно это заметно в высокочастотной части диапазона.

Многообразие причин, оказывающих воздействие на частоту гетеродина, затрудняет возможность количественной оценки их влияния. Поэтому, не вдаваясь в более подробное рассмотрение причин нестабильности и степени их воздействия,. наметим основные пути повышения устойчивости работы гетеродина. Необходимо отметить, что большинство рекомендаций особенно важно учитывать при конструировании гетеродинов, предназначенных для работы в высокочастотной части диапазона, где нестабильность частоты проявляется особенно резко, т. е. на частотах гетеродина более 10 *Мгц*.

17. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ ГЕТЕРОДИНОВ

На КВ диапазонах в основном применяются две наиболее простые схемы: с индуктивной обратной связью (рис. 12, *а*) и индуктивная трехточка (рис. 12,*б*). В некоторых случаях применяется схема емкостной трехточки (рис. 12,*в*). Первые две схемы могут быть рекомендованы как для ламповых, так и для транзисторных приемников. Каждая из указанных схем имеет свои особенности.

Схема с индуктивной обратной связью. Для получения высокой стабильности частоты в этой схеме катушка обратной связи должна быть выполнена столь же тщательно, как и катушка резонансного контура.

Схема индуктивной трехточки. В этой схеме управляющая сетка лампы должна подключаться не к полному контуру, а к его части. Тем самым уменьшается влияние характеристик лампы на генерируемую частоту. Во избежание паразитной генерации на частотах более высоких, чем собственная частота настройки контура гетеродина, рекомендуется последовательно с управляющей сеткой лампы включать резистор *R* сопротивлением 100—200 *ом*. Для гетеродина на транзисторе резистор с таким же сопротивлением включается между коллектором или базой и контуром гетеродина.

Схемы индуктивной и емкостной трехточки на лампах имеют тот недостаток, что катод лампы не заземлен по высокой частоте. Это может привести к тому, что колебания гетеродина окажутся промодулированными частотой сети переменного тока, питающей накал данной лампы. Такая модуляция приведет к появлению фона на выходе приемника.

Схема емкостной трехточки. Необходимым элементом этой схемы является высокочастотный дроссель *Др*, индуктивность которого должна быть в несколько раз больше индуктивности контура для самого низкочастотного диапазона. Стабильность индуктивности и его межвитковой емкости должна быть достаточно высокой, чтобы

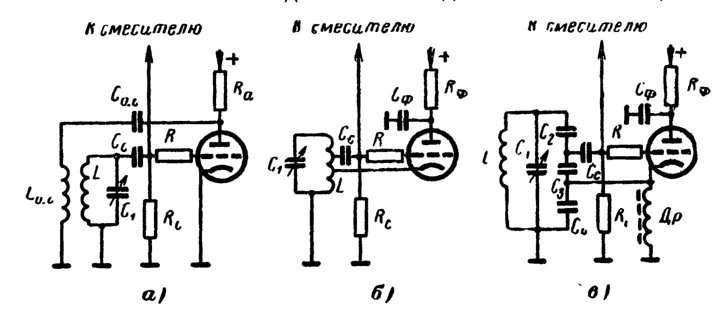


Рис. 12. Схемы гетеродинов.

а — с индуктивной связью; *б* — индуктивная трехточка; *в* — емкостная трехточка.

не ухудшать стабильность частоты гетеродина. Такой дроссель выполнить довольно сложно, тем более, что он должен быть достаточно малых размеров, чтобы вписаться в монтаж гетеродина. Схема емкостной трехточки весьма сложна в коммутации, поэтому ее почти не применяют в многодиапазонных КВ приемниках.

С точки зрения стабильности частоты в КВ диапазоне все рассмотренные схемы дают почти одинаковые результаты. Поэтому выбор той или иной схемы в первую очередь определяется простотой схемы, удобством переключения элементов гетеродина при переходе с одного диапазона на другой и переключателем, который имеется у радиолюбителя. В настоящее время существует большое количество отработанных схем гетеродинов на лампах, которые с успехом могут быть использованы при конструировании приемников с растянутыми КВ диапазонами.

При конструировании гетеродина полезно учесть следующие рекомендации:

1. Стабильность частоты гетеродина существенно зависит от типа лампы, поэтому лампу для гетеродина следует выбирать с большой крутизной характеристики. Это позволяет уменьшить коэффициент включения лампы в колебательный контур и тем самым повысить стабильность частоты гетеродина. Гетеродин обычно выполняют совместно со смесителем на многосеточной лампе 6И1П, 6Ф1П и др. Гетеродин может быть выполнен и на отдельной лампе. Это позволяет получить более высокую стабильность частоты и уменьшает просачивание частоты гетеродина на антенну в приемниках, не имеющих УВЧ.

Гетеродин на отдельной лампе выполняется на триоде с большой крутизной (6С2П, 6С3П и др.), или на пентодах в триодном включении.

2. Для гетеродина транзисторного приемника следует выбирать транзистор таким образом, чтобы его предельная частота генерации, приводимая в справочниках, была в 2—3 раза выше верхней рабочей частоты гетеродина.

В схеме гетеродина на транзисторе целесообразно включать между эмиттером и коллектором или между коллектором и базой конденсатор небольшой, подбираемой опытным путем, емкости (10—30 *пф*). Это позволяет уменьшить коэффициент включения транзистора в колебательный контур гетеродина, что способствует повышению стабильности частоты. Для стабильности гетеродина очень большое значение имеет правильность выбора его режима. Выбор схемы гетеродина на транзисторе и расчет ее режима радиолюбитель может сделать, воспользовавшись статьей инженеров И. Василькевича и А. Буденного «Расчет автогенератора на транзисторах» («Радио» № 7, 1964 г.).

3. Для уменьшения влияния нагрузки на стабильность частоты гетеродина связь гетеродина со смесителем необходимо выбирать по возможности минимальной. Как указывалось в § 13, в ламповой схеме при односеточном преобразовании напряжение гетеродина на сетке смесителя должно быть 1,5—2 *в*. В транзисторной схеме напряжение гетеродина на базе смесителя (в схеме с общим эмиттером) должно быть 0,2—0,3 *в*. Это достигается подачей напряжения гетеродина на смеситель через конденсатор небольшой емкости (2—5 *пф*). Емкость подбирается при наладке схемы путем уменьшения ее до тех пор, пока не начнет заметно уменьшаться усиление приемника.

4. Для уменьшения влияния колебаний питающих напряжений на частоту гетеродина можно стабилизировать эти напряжения.

Стабилизация анодного напряжения и накала радиоламп достаточно подробно описана в литературе и не вызывает особых затруднений. В простейшем случае анодное напряжение можно стабилизировать с помощью стабилитронов, а напряжение накала — бареттером. Вместе с тем установлено, что для большинства радиоламп понижение анодного напряжения приводит к понижению частоты гетеродина, а понижение напряжения накала — к повышению частоты, т. е. оба процесса действуют на частоту гетеродина в противоположных направлениях, частично компенсируя друг друга.

5. Для уменьшения влияния температуры на частоту гетеродина можно применить метод температурной компенсации. С повышением температуры индуктивность всегда увеличивается, что приводит к понижению частоты гетеродина. Если в контур включить конденсатор, емкость которого с ростом температуры будет уменьшаться во столько же раз, во сколько увеличивается индуктивность, то частота гетеродина не изменится. Для температурной компенсации можно использовать керамические конденсаторы типа КТ, КД и др., групп М47, М75 и М700. Однако эта работа под силу лишь опытному радиолюбителю. Этим же способом может быть достигнуто и уменьшение выбега частоты. В этом случае конденсатор устанавливается близко от радиолампы и прогревается ее теплом.

В транзисторных приемниках уменьшение выбега частоты может быть достигнуто применением транзисторов с массивными эмиттерными электродами, например П411, П418 и др.

Следует отметить, что выбег частоты и постепенный прогрев приемника влияют на уход частоты гетеродина лишь некоторое время, и практически через 15—20 *мин* частота гетеродина устанавливается. Поэтому отсутствие термокомпенсирующих конденсаторов сказывается лишь на точности градуировки шкалы.

6. Особенно существенное значение имеют изоляционные материалы, из которых изготовлены детали гетеродина: каркасы катушек индуктивности, изоляторы конденсаторов, переключатель диапазонов, ламповая панель, опорные точки, изоляция соединительных проводов и др. Использование низкокачественных изоляционных материалов резко ухудшает стабильность частоты гетеродина. Целесообразно применять материалы с малыми диэлектрическими потерями, способные сохранять свои размеры и свойства под влиянием температуры и влаги и сохраняющие эти свойства в течение длительного времени, т. е. такие материалы, у которых отсутствует старение. К таким материалам относятся керамика, полистирол и некоторые другие. Однако в низкочастотной части КВ диапазона (на частотах до 6—8 *Мгц*) вполне удовлетворительные результаты могут быть получены и при использовании обычных изоляционных материалов (гетинакс, текстолит, пластические массы).

7. Большое влияние на стабильность частоты гетеродина оказывают деформации элементов монтажа: деформации деталей от частого и неравномерного нагрева, изменение взаимного расположения элементов относительно друг друга, деформация экранов катушек индуктивности и др. Особое внимание нужно обратить на изготовление катушек индуктивности. Для катушек лучше всего выбирать ребристые каркасы или каркасы с резьбой, намотку вести с натягом и последующим обязательным закреплением витков катушки и выводов во избежание их сползания.

Монтаж гетеродина должен быть жестким. Для этого рекомендуется использовать толстый оголенный провод диаметром 0,8—1,5 *мм*. При конструировании необходимо располагать элементы гетеродина таким образом, чтобы соединительные провода имели минимальную длину и были достаточно удалены от экранов. Выводы элементов схемы (конденсаторов, резисторов, катушек) следует делать короче. Можно рекомендовать для схемы гетеродина навесной монтаж, а не размещение деталей на монтажных планках.

18. ГРАДУИРОВКА ШКАЛЫ

Наличие в КВ приемнике точной шкалы частот (волн), у которой интервал между соседними делениями составляет единицы или десятки килогерц, облегчает поиск нужной станции. Однако нестабильность частоты гетеродина ограничивает возможность изготовления такой шкалы частот КВ приемника. Чем выше стабильность частоты, тем с более высокой точностью может быть сделана шкала частот, тем чаще могут быть нанесены деления, тем удобней настройка. Однако чем выше частота гетеродина, тем трудней получить высокую стабильность его частоты и тем ниже точность шкалы.

В промышленных радиовещательных приемниках только на длинных и средних волнах имеется точная и подробная шкала настройки. В широком и полурастянутых КВ диапазонах шкала настройки служит только для грубой ориентировки и поиск нужной станции затруднителен. Причиной этого в первую очередь

является высокая плотность настройки и нестабильность частоты гетеродина. Помимо этого, в промышленных приемниках, выпускаемых в большом количестве, необходимо применять типовую шкалу настройки. Укладка КВ диапазона в точную типовую шкалу трудна и приводит к резкому удорожанию приемников. В профессиональных приемниках точные шкалы изготавливаются индивидуально для каждого экземпляра приемника.

В любительском приемнике при очень тщательном и грамотном исполнении схемы и конструкции гетеродина можно получить высокую стабильность его частоты. Это позволяет сделать точную шкалу настройки с достаточно большим количеством делений. При градуировке таких шкал обязательно нужно пользоваться гетеродинным волномером, обладающим высокой точностью и стабильностью частоты, или генератором стандартных сигналов и кварцевым калибратором. Если уход частоты гетеродина после предварительного прогрева в процессе приема не превышает 3—4 *кгц*, то может быть сделана довольно точная градуировка шкалы приемника. В этом случае на шкалу можно нанести оцифровку в метрах или мегагерцах. Каждую отметку (в метрах или мегагерцах) следует относить не к точке шкалы, а к небольшому участку, длина которого определяется нестабильностью гетеродина. Так, например, в приемнике, шкала настройки которого имеет длину 300 *мм*, уход частоты гетеродина составляет ±4 *кгц* и ширина диапазона 400 *кгц*, длина участка должна быть не менее 6 *мм*. С течением времени старение деталей в контуре гетеродина может нарушить градуировку. В этом случае, если уход частоты гетеродина невелик, следует его подстроить. Если же частота ушла сильно, то градуировку следует повторить.

В простейшем случае можно выполнить шкалу настройки с равномерно расположенными делениями, служащими только для грубого определения положений принимаемых станций на шкале.

Глава пятая

ВЫБОР СХЕМ РАСТЯНУТОЙ НАСТРОЙКИ И ПРИМЕРЫ ИХ РАСЧЕТА

19. ВЫБОР СХЕМЫ

Если в распоряжении радиолюбителя имеется готовый радиоприемник, то введение растянутых диапазонов потребует полной переделки его высокочастотной части и в первую очередь замены переключателя диапазонов. Если оставить имеющийся в приемнике переключатель, то введение растянутых диапазонов потребует исключения каких-либо из имеющихся, например ДВ или широкого КВ диапазонов. При желании сохранить все имеющиеся диапазоны необходим новый переключатель. Если число вводимых диапазонов не превышает трех-четырех, то можно рекомендовать сравнительно несложную схему с общей катушкой индуктивности (см. рис. 3).

В готовый приемник наиболее просто ввести растяжку внутри широкого или полурастянутого КВ диапазона. В этом случае потребуются сравнительно небольшие переделки, а на передней панели появится еще одна ручка настройки. Преимущества и недостат-

ки такой схемы рассмотрены выше. При выполнении такой схемы нужно помнить, что подстроечный конденсатор или варикап должен быть установлен в непосредственной близости от контура гетеродина, чтобы не ухудшить стабильность его частоты. Схема с подстроечным конденсатором проще, однако этот конденсатор не всегда можно установить рядом с контуром гетеродина по конструктивным соображениям. Размеры же варикапа и возможность им управлять на расстоянии позволяют установить его практически в любом месте схемы гетеродина. Потенциометр настройки, управляющий емкостью варикапа, можно установить в любом удобном месте на передней панели приемника.

При конструировании нового приемника радиолюбитель, пользуясь приведенными в предыдущих главах рекомендациями, может составить схему, лучше всего удовлетворяющую его требованиям, вкусу и возможностям.

Наиболее просто построить новый приемник средней чувствительности (без УВЧ), рассчитанный на прием только коротких волн. Если в таком приемнике входное устройство выполнить на широкополосных контурах с фиксированной настройкой, то потребуется лишь одна секция переменного конденсатора для перестройки гетеродина. Такой приемник может иметь достаточно большое число растянутых диапазонов. В этом случае целесообразно выбрать схему растяжки с отдельными катушками индуктивности и общим укорачивающим конденсатором (см. рис. 4,*а*).

Конструирование всеволнового приемника потребует введения многосекционного конденсатора переменной емкости для перестройки гетеродина, входного устройства и УВЧ, если последний предусматривается. Если число растянутых КВ диапазонов не превышает трех-четырех, то удобно использовать схему с общей катушкой индуктивности (см. рис. 3) или схему с отдельными катушками индуктивности и общими укорачивающим и удлиняющим конденсаторами (рис. 4,*б* и *в*). При числе растянутых КВ диапазонов более четырех лучше использовать схему, приведенную на рис. 4,*а*.

Если поставить перед собой задачу создания высокочувствительного приемника с большим числом растянутых диапазонов, охватывающих бóльшую часть наиболее интересных участков КВ диапазона, то может оказаться, что такой приемник будет значительно сложнее КВ приемника с двойным преобразованием частоты, позволяющим при малом числе диапазонов получить равномерную растяжку в любом месте широкого КВ диапазона. Приемник с двойным преобразованием частоты может быть рассчитан на прием трех-четырех нерастянутых диапазонов, перекрывающих почти весь КВ диапазон. Внутри каждого нерастянутого диапазона перестройкой второго гетеродина можно в любом месте получить растяжку в 200—300 *кгц*. Принципиальное отличие приемника с двойным преобразованием частоты от описанных выше заключается в том, что он позволяет перекрыть весь непрерывный КВ диапазон, а не его отдельные участки.

20. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА СХЕМ РАСТЯНУТОЙ НАСТРОЙКИ

После того как выбраны участки диапазона, подлежащие растяжке, необходимо определить границы каждого растягиваемого диапазона. Эти границы должны быть обязательно раздвинуты с тем, чтобы учесть нестабильность частоты гетеродина как кратко-

временную, так и длительную. Если ширина растягиваемого диапазона точно соответствует ширине диапазона, в котором работают передающие станции, то в результате нестабильности гетеродина станции, расположенные на краях диапазона, могут оказаться за пределами возможной настройки. Нижнюю и верхнюю границы диапазона необходимо раздвигать на величину, составляющую не менее 1,5% от средней частоты каждого растягиваемого диапазона. После определения границ диапазонов можно перейти непосредственно к расчету схем растяжки.

Расчет контуров входного устройства. Выберем для растяжки четыре КВ диапазона: 49 *м* (первый диапазон), 41 *м* (второй), 31 *м* (третий) и 25 *м* (четвертый). Для растяжки четырех диапазонов удобно применить схему с отдельными катушками индуктивности, приведенную на рис. 4,*в*. Порядок расчета такой схемы изложен в § 7.

1. Выберем границы диапазонов ($f_{мин}$ и $f_{макс}$) для контуров входного устройства и определим ширину каждого диапазона $\Delta f_0 = f_{макс} - f_{мин}$:

Для первого диапазона

$f_{мин} = 5{,}9$ *Мгц*, $f_{макс} = 6{,}3$ *Мгц*, $\Delta f_0 = 0{,}4$ *Мгц*.

Для второго диапазона

$f_{мин} = 6{,}9$ *Мгц*, $f_{макс} = 7{,}4$ *Мгц*, $\Delta f_0 = 0{,}5$ *Мгц*.

Для третьего диапазона

$f_{мин} = 9{,}3$ *Мгц*, $f_{макс} = 9{,}9$ *Мгц*, $\Delta f_0 = 0{,}6$ *Мгц*.

Для четвертого диапазона

$f_{мин} = 11{,}6$ *Мгц*, $f_{макс} = 12{,}1$ *Мгц*, $\Delta f_0 = 0{,}5$ *Мгц*.

Допустим, что имеется конденсатор переменной емкости с начальной емкостью $C_н = 11$ *пф* и конечной емкостью $C_к = 480$ *пф*. Перекрытие такого конденсатора по емкости $\delta C = 469$ *пф*. Полагая, что паразитная емкость $C_п$ в многодиапазонной схеме может быть достаточно большой (возьмем $C_п = 30$ *пф*), выберем минимальную емкость контура $C_{мин} = 100$ *пф* с тем, чтобы уменьшить влияние паразитной емкости и смены ламп на настройку контуров.

2. Для самого низкочастотного диапазона (49 *м*) по формуле (14) рассчитаем индуктивность контурной катушки:

$$L_1 = \frac{25\,330}{6{,}3^2 \cdot 100} \approx 6{,}4 \text{ мкгн.}$$

3. По формуле (17) определим необходимое для перекрытия данного диапазона изменение емкости контура ΔC:

$$\Delta C = \frac{25\,330}{6{,}4}\left(\frac{1}{5{,}9^2} - \frac{1}{6{,}3^2}\right) = 14 \text{ пф.}$$

Проверим, достаточно ли полученное изменение емкости контура ΔC для перекрытия остальных диапазонов. Для этого, пользуясь

приближенной формулой (21), определим ширину каждого диапазона Δf:

$$\Delta f \approx f_{ср} \frac{\Delta C}{2\,C_{ср}}.$$

Определим $f_{ср}$ для второго, третьего и четвертого диапазонов по формуле

$$f_{ср} \approx \frac{f_{макс} + f_{мин}}{2}.$$

Получаем для второго диапазона $f_{ср}=7{,}15$ *Мгц*, для третьего — 9,6 *Мгц*, четвертого — 11,85 *Мгц*. Значение $C_{ср}$ вычислим по формуле

$$C_{ср} = C_{мин} + \frac{\Delta C}{2} = 100 + \frac{14}{2} = 107 \text{ пф}.$$

В результате расчета получим для второго диапазона $\Delta f = 0{,}468$ *Мгц*, для третьего — 0,63 *Мгц*, для четвертого — 0,775 *Мгц*. Как видно, расчетное значение Δf для диапазона 41 *м* несколько меньше требуемой Δf_0. Чтобы увеличить ширину диапазона, возьмем $\Delta C=15$ *пф*, т. е. несколько больше расчетной. При этом ширина второго диапазона будет равна:

$$\Delta f_2 \approx 7{,}15 \frac{15}{2 \cdot 107} \approx 0{,}5 \text{ Мгц},$$

т. е. равна расчетной.

Ширина остальных диапазонов несколько увеличится.

Проверка границ диапазонов может быть сделана и по формуле (22). Однако разница в результатах расчета очень мала.

4. По формуле (14) рассчитываем индуктивности катушек остальных трех диапазонов:

$$L_2 = \frac{25\,330}{7{,}4^2 \cdot 100} \approx 4{,}6 \text{ мкгн};$$

$$L_3 = \frac{25\,330}{9{,}9^2 \cdot 100} \approx 2{,}6 \text{ мкгн};$$

$$L_4 = \frac{25\,330}{12{,}1^2 \cdot 100} \approx 1{,}7 \text{ мкгн}.$$

5. Найдем максимальную емкость контура

$$C_{макс} = C_{мин} + \Delta C = 100 + 15 = 115 \text{ пф}.$$

6. Определим собственные емкости контура по формулам (8) и (9):

$$C_{01} = 115 - 30 = 85 \text{ пф};$$

$$C_{02} = 100 - 30 = 70 \text{ пф}.$$

7. По формуле (13) определим удлиняющую емкость C_4:

$$C_4 = \frac{469}{2}\left(\sqrt{1 + \frac{4 \cdot 85 \cdot 70}{469 \cdot (85 - 70)}} - 1\right) - 11 = 244 \text{ пф}.$$

Следует выбрать ближайшее значение по шкале емкостей 240 *пф*.

8. Находим укорачивающую емкость C_3 по формуле (12):

$$C_3 = \frac{70(240 + 11)}{240 + 11 - 70} = 97 \text{ пф}.$$

Выбираем $C_3 = 100$ *пф*. По выбранным емкостям C_3 и C_4, зная $C_н$, $C_к$, $C_п$ и индуктивности катушек контуров, легко рассчитать уточненные значения $C_{мин}$ и $C_{макс}$ и определить границы диапазонов и их ширину. Эти значения приведены в табл. 2. Как видно из таблицы, выбранные емкости обеспечивают с некоторым запасом перекрытие диапазонов. Однако все диапазоны оказались несколько смещенными вниз по частоте из-за того, что значения емкости C_3 и C_4 несколько отличаются от расчетных. Это смещение диапазонов легко устраняется при регулировке приемника настройкой катушек индуктивности с помощью сердечника. Емкость C_4 можно получить, соединив два конденсатора — постоянной емкости и подстроечный.

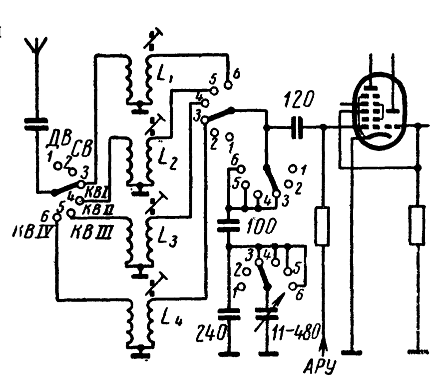


Рис. 13. Схема входного устройства на четыре КВ диапазона.

Рассчитанная схема входного устройства приведена на рис. 13. Такая же схема может быть использована и для гетеродина. В этом случае порядок расчета остается тем же, но частоты, соответствующие границам диапазонов, необходимо изменить на величину промежуточной частоты. Схема, аналогичная рассчитанной, используется в приемнике «Фестиваль».

Расчет контуров гетеродина произведем для тех же диапазонов, что и в предыдущем случае, изменив $f_{мин}$ и $f_{макс}$ на величину

Таблица 2

Диапазон, *м*	*L*, *мкгн*	C_3, *пф*	C_4, *пф*	$C_{мин}$, *пф*	$C_{макс}$, *пф*	$f_{мин}$, *Мгц*	$f_{макс}$, *Мгц*	Δf, *Мгц*
49	6,4	100	240	101,5	118	5,8	6,26	0,46
41	4,6	100	240	101,5	118	6,84	7,39	0,55
31	2,6	100	240	101,5	118	9,1	9,83	0,7
25	1,7	100	240	101,5	118	11,3	12,1	0,8

промежуточной частоты, которую будем считать равной 465 *кгц*. Частоты гетеродина выберем выше частот сигнала. Для примера рассчитаем схему с общей катушкой индуктивности и укорачивающими конденсаторами. Порядок расчета такой схемы изложен в § 6.

1. Определим границы диапазонов перестройки гетеродинов ($f_{мин}$ и $f_{макс}$):

Для первого диапазона

$f_{мин}=6{,}365$ *Мгц*, $f_{макс}=6{,}765$ *Мгц*.

Для второго диапазона

$f_{мин}=7{,}365$ *Мгц*, $f_{макс}=7{,}865$ *Мгц*.

Для третьего диапазона

$f_{мин}=9{,}765$ *Мгц*, $f_{макс}=10{,}365$ *Мгц*.

Для четвертого диапазона

$f_{мин}=12{,}065$ *Мгц*, $f_{макс}=12{,}565$ *Мгц*.

2. Конденсатор переменной емкости тот же, что и в предыдущем случае: $C_н=11$ *пф*, $C_к=480$ *пф*, $\delta C=469$ *пф*.

3. Выберем ту же минимальную емкость $C_{мин}=100$ *пф*.

4. Найдем по формуле (2) индуктивность катушки для самого высокочастотного диапазона:

$$L=\frac{25\,330}{12{,}565^2\cdot 100}\approx 1{,}6\ мкгн.$$

Дальнейший расчет произведем сначала для первого диапазона.

5. Рассчитаем по формулам (1) и (2) величины $C_{макс}$ и $C_{мин}$:

$$C_{макс}=\frac{25\,330}{6{,}365^2\cdot 1{,}6}\approx 391\ пф;$$

$$C_{мин}=\frac{25\,330}{6{,}765^2\cdot 1{,}6}\approx 347\ пф.$$

6. Определим перекрытие по емкости по формуле (5):

$$\Delta C=391-347=44\ пф.$$

7. Найдем величину укорачивающей емкости, используя формулу (6):

$$C_з=$$

$$=\frac{44\,(469+2\cdot 11)+\sqrt{[44\,(469+2\cdot 11)]^2+4\,(469-44)\,(469+11)\cdot 11\cdot 44}}{2\,(469-44)}\approx$$

$$\approx 60\ пф.$$

Выберем конденсатор емкостью 62 *пф*.

8. По формуле (7) вычислим значение удлиняющей емкости

$$C_2 = 347 - \frac{11 \cdot 62}{11+62} \approx 338 \text{ пф}.$$

Емкость C_2 можно получить, соединив конденсатор постоянной емкости и подстроечный конденсатор. Так как в эту же емкость входит и паразитная емкость, которая может быть 25—50 *пф*, целесообразно установить конденсатор постоянной емкости 270 *пф* и подстроечный конденсатор 6—25 *пф*. Значение постоянной емкости может быть уточнено при настройке. Таким же образом рассчитаем величины C_2 и C_3 для остальных диапазонов. Результаты расчета сведены в табл. 3. Рассчитанная схема приведена на рис. 14. Настройка контура в такой схеме производится с помощью подстроечных конденсаторов для каждого диапазона.

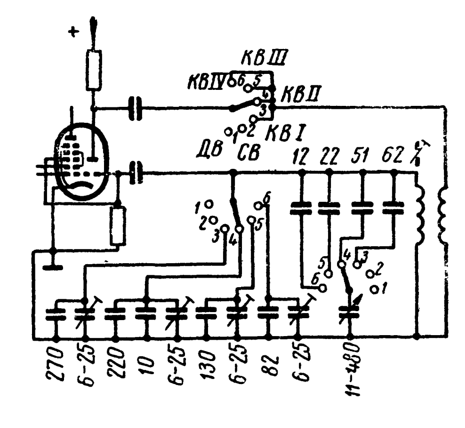


Рис. 14. Схема гетеродина на четыре КВ диапазона.

Схема растяжки диапазонов с общей катушкой индуктивности применена в приемнике «Эстония-3».

Расчет схемы растяжки внутри диапазона. Растяжка внутри широкого диапазона выполняется в контуре гетеродина. Схема такого гетеродина приведена на рис. 15. Для растяжки выберем КВ диапазон 5,8—12,2 *Мгц*. В этом случае частоты гетеродина

$$f_{мин} = 6{,}265 \text{ Мгц и } f_{макс} = 12{,}665 \text{ Мгц}.$$

1. Выберем ширину растяжки равной 1% от верхней частоты диапазона, т. е.

$$\frac{\Delta f_{макс}}{f_{макс}} = 0{,}01.$$

2. Оценим приближенно минимальную емкость контура гетеродина. Непосредственно из схемы $C_{мин}$ определить нельзя, если неизвестна индуктивность контура. Обычно в схемах и описаниях

Таблица 3

Диапазон, *м*	*L*, *мкгн*	Расчетное C_2, *пф*	Выбранное C_2, *пф*	C_3, *пф*	$C_{мин}$, *пф*	$C_{макс}$, *пф*
49	1,6	338	270+6÷25	62	347	391
41	1,6	247	220+10+6÷25	51	293	256
31	1,6	145	130+6÷25	22	166	152
25	1,6	94	82+6÷25	12	106	100

приемников эта величина не приводится. Поэтому $C_{мин}$ приходится определять расчетным путем. Из схемы, приведенной на рис. 15, видно, что емкость контура гетеродина

$$C = C_3 + C_4 + \frac{C_2 C_1}{C_2 + C_1} + C_п,$$

где $C_п$ — паразитная емкость контура, не показанная на схеме. Емкость контура получается минимальной тогда, когда конденса-

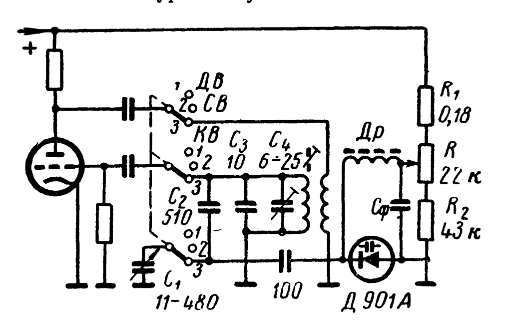


Рис. 15. Схема гетеродина с варикапом.

тор C_1 имеет минимальную емкость $C_н = 11$ *пф*. В приведенной формуле все величины известны, кроме $C_п$

$$C_{мин} = 10 + 15 + \frac{510 \cdot 11}{510 + 11} + C_п \approx 36\ пф + C_п.$$

Для подстроечного конденсатора C_4 взято среднее значение емкости — 15 *пф*. Емкость $C_п$ определяется следующим образом.

Найдем величину $C_{макс}$:

$$C_{макс} = 10 + 15 + \frac{510 \cdot 480}{510 + 480} + C_п \approx 272\ пф + C_п,$$

где 480 *пф* — максимальное значение емкости конденсатора C_1.

Определим отношение $\frac{C_{макс}}{C_{мин}}$:

$$\frac{C_{макс}}{C_{мин}} = \frac{f^2_{макс}}{f^2_{мин}} = \frac{12{,}665^2}{6{,}265^2} \approx 4{,}1.$$

Тогда

$$\frac{272 + C_п}{36 + C_п} = 4{,}1.$$

Решая это выражение, получим $C_п \approx 40$ *пф*. Теперь можно определить $C_{мин}$:

$$C_{мин} = 36 + 40 = 76\ пф.$$

3. Найдем перекрытие по емкости, необходимое для растяжки:

$$\Delta C_р = 2\frac{\Delta f_{макс}}{f_{макс}} C_{мин} = 2 \cdot 0{,}01 \cdot 76 = 1{,}52\ пф.$$

Такое перекрытие по емкости нетрудно обеспечить, поэтому укорачивающую емкость последовательно с варикапом можно не включать. Тогда $\Delta C_р = \delta C_р$.

4. Для перестройки используем варикап типа Д901А На графике, приведенном на рис. 6, выберем пологий участок характеристики варикапа, на котором изменение емкости от напряжения невелико, и определим крайние значения напряжений, приложенных к варикапу: $U_1 = 42$ *в*, $U_2 = 65$ *в*. Среднее значение емкости варикапа $C_{ср}$, соответствующее напряжению на нем 54 *в*, составляет 8 *пф*. На эту величину необходимо уменьшить емкость C_3 или C_4.

5. Рассчитаем делитель напряжения для варикапа. При этом будем считать, что анодное напряжение для питания ламп $E = 250$ *в*. Выберем ток через делитель $I = 1$ *ма*. Тогда

$$R_1 = \frac{E - U_2}{I} = \frac{250 - 65}{1} = 185 \text{ ком};$$

$$R = \frac{U_2 - U_1}{I} = \frac{65 - 42}{1} = 23 \text{ ком};$$

$$R_2 = \frac{U_1}{I} = \frac{42}{1} = 42 \text{ ком}.$$

Выберем $R_1 = 180$ *ком*, $R = 22$ *ком*, $R_2 = 43$ *ком*. На этом расчет схемы заканчивается.

Окончательная настройка контура производится сердечником катушки и подстроечным конденсатором C_4. Регулировка ширины растяжки может производиться подбором сопротивлений резисторов R_1 или R_2. При этом может меняться $C_{ср}$, а следовательно, и настройка контура. Чтобы этого избежать, можно подбирать сопротивления резисторов R_1 и R_2 одновременно в сторону уменьшения (перекрытие варикапа по емкости растет) или в сторону увеличения (перекрытие падает). При этом средние значения емкости варикапа и приложенного к нему напряжения должны оставаться неизменными.

Дроссель *Др* и конденсатор $C_ф$ представляют собой фильтр, не пропускающий частоты гетеродина Чтобы дроссель не шунтировал контур, его индуктивность должна быть в 30—50 раз больше индуктивности контура. Собственная емкость дросселя должна быть малой. Такой дроссель можно сделать на ферритовом стержне Емкость конденсатора фильтра $C_ф$ выбирается в пределах 0,01—0,05 *мкф*. Дроссель и конденсатор фильтра, так же как и варикап, устанавливаются в непосредственной близости от контурной катушки гетеродина.

В заключение оценим плотность настройки, приведенную к ручке потенциометра R. Максимальный угол поворота оси потенциометра обычно составляет 270°. Ширина растяжки в высокочастотной части диапазона

$$\Delta f_{макс} = 0{,}01\ f_{макс} = 0{,}01 \cdot 12{,}665 \approx 127 \text{ кгц}.$$

В низкочастотной части диапазона

$$\Delta f_{\text{мин}} \approx \frac{f_{\text{мин}}}{2} \frac{\Delta C_{\text{р}}}{C_{\text{макс}}} = \frac{6,265 \cdot 1,52}{2(272+40)} \approx 15,3 \textit{ кгц}.$$

Плотность настройки вверху диапазона

$$П_{\text{в}} = \frac{\Delta f_{\text{макс}}}{270^\circ} = \frac{127}{270} \approx 0,47 \textit{ кгц/град}.$$

Внизу диапазона

$$П_{\text{н}} = \frac{\Delta f_{\text{мин}}}{270^\circ} = \frac{15,3}{270} \approx 0,056 \textit{ кгц/град}.$$

ОГЛАВЛЕНИЕ

Цена 14 коп.

